



**Duarte d'Eça Leal Ferreira de Vargas**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

## **Argamassas de cal aérea e metacaulino**

A influência do traço e da cura

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Armando Nunes Antão

Arguente: Professora Doutora Inês Flores Colen

Vogal: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro de 2013**





**Duarte d'Eça Leal Ferreira de Vargas**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

## **Argamassas de cal aérea e metacaulino**

A influência do traço e da cura

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Júri:

Presidente: Professor Doutor Armando Nunes Antão

Arguente: Professora Doutora Inês Flores Colen

Vogal: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro de 2013**



## **Argamassas de cal aérea e metacaulino - A influência do traço e da cura**

‘Copyright’ Duarte d’Eça Leal Ferreira de Vargas, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que me ajudaram directa ou indirectamente na realização desta dissertação:

À Professora Doutora Paulina Faria por me ter aceite para orientar nesta dissertação e pela ajuda na revisão do texto.

Ao Vítor Silva, bolseiro da FCT-UNL, pelo acompanhamento e colaboração na fase experimental, na realização dos ensaios e pelas opiniões na análise e tratamento de resultados obtidos.

Aos meus colegas Tiago Madeira e João Valério, que me acompanharam desde o início da dissertação, pela amizade, companheirismo e compreensão que sempre demonstraram, nos melhores e piores momentos, e cuja amizade irá perdurar. Assim como à Lara Neves que ajudou sempre no que foi preciso.

Acima de tudo queria agradecer aos meus Pais pela paciência.





# RESUMO

No contexto socioeconómico presente e olhando para o parque edificado actual são visíveis as repercussões nas actividades que constituem a construção civil, o que obriga a engenharia civil a pensar na conservação e na reabilitação como alternativa importante para a sua actividade. Esta conjuntura aliada ao conceito de sustentabilidade e à necessidade de concepção de materiais mais adequados a intervenções ao nível do património edificado, conduz à necessidade de se ter um melhor conhecimento acerca de diversos materiais e produtos a utilizar e, nomeadamente, de argamassas.

Este estudo inserido nos projectos METACAL e LIMECONTECH, consistiu na caracterização de três argamassas distintas, em estado fresco e em estado endurecido expostas a três ambientes de cura diferenciados, um deles em condições de exposição natural em ambiente marítimo e outros dois em laboratório. Essas argamassas, formuladas com base em cal aérea hidratada e areia, partindo de um traço volumétrico de 1:2, diferem entre si nas percentagens de substituição mássica de cal por metacaulino: 0%, 10% e 20%.

Apresentam-se as características físico-mecânicas obtidas maioritariamente aos 28, 90 e 180 dias e comparam-se com argamassas semelhantes realizadas com diferentes traços.

Uma das vantagens da utilização do metacaulino em argamassas de cal aérea é a sua capacidade de endurecimento, especialmente em ambientes muito húmidos. A restante caracterização mostrou que o teor de substituição de 20% de cal aérea por metacaulino apresenta resultados mais favoráveis, nomeadamente nos ensaios onde assenta a maior importância deste estudo, ou seja, os parâmetros mecânicos e o comportamento face à água, pois são estes os factores determinantes na aplicação de argamassas em rebocos.

Na cura standard, o teor de substituição de 20% de cal por metacaulino, apresenta vantagens nos valores de parâmetros mecânicos. No comportamento face à água verificam-se melhorias numa fase inicial na cura húmida e a longo prazo na cura marítima.

**Termos chave:** cal aérea hidratada; metacaulino; argamassas; cura; caracterização; reabilitação.



# ABSTRACT

In the current socio-economic context and looking at the existing building stock the impact on the activities that constitute civil construction is visible, which requires civil engineering to think in conservation and rehabilitation as important alternatives for its activity. This situation combined with the concept of sustainability and the need to design more suitable materials for built heritage interventions have led to the need to have a better knowledge of various materials and products to use, namely mortars.

This study, embedded in METACAL and LIMECONTECH projects, consisted in the characterization of three different mortars, in fresh and in the hardened state, after exposure to three different curing environments, one in natural exposure in marine environment and two in laboratory conditions. These mortars were formulated based on hydrated air lime and sand, in a 1:2 volumetric composition, and they differ in the weight percentages of substitution of lime by metakaolin: 0%, 10% and 20%.

The physical-mechanical characteristics obtained mostly at 28, 90 and 180 days are presented and compared with similar mortars with different compositions.

One of the advantages of using metakaolin in mortars is its capability to harden even in very humid environments. The remaining characterization showed that the 20% substitution of lime weight for metakaolin: reveals better results, particularly in the tests where the greatest importance in this study lies, namely, the mechanical parameters and behavior towards water, as these are the key factors in assessing the applicability of mortars.

In the standard curing, the 20% substitution of lime weight for metakaolin reveals advantages in mechanical parameters values. Concerning the behavior towards water improvements are shown at an early stage in the humid curing while maritime curing benefits its long-term behaviour.

**Keywords:** hydrated air lime, metakaolin, mortars, curing, characterization, rehabilitation.



# LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

## Siglas

- **DEC** – Departamento de Engenharia Civil;
- **EN** – Norma Europeia;
- **NP** – Norma Portuguesa;
- **LIMECONTECH** – projecto LIMECONTECH financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia;
- **METACAL** – projecto METACAL financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia;
- **FCT-UNL** – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;
- **CEN** – Comité Européen de Normalisation;
- **IPQ** – Instituto Português da Qualidade.

## Abreviaturas

- **Mk** – Metacaulino;
- **CL** – Cal aérea;
- **Ag** – Agregado (mistura de areias);

## Argamassas

- **CL** – argamassa de cal aérea e areia ao traço 1:2;
- **CL\_10Mk** – argamassa de cal aérea e areia com base no traço volumétrico 1:2, com substituição de 10% de massa de cal aérea por metacaulino;
- **CL\_20Mk** – argamassa de cal aérea e areia com base no traço volumétrico 1:2, com substituição de 20% de massa de cal aérea por metacaulino.

## Condições de cura

- **(m)** – cura marítima;
- **(h)** – cura húmida;
- **(s)** – cura standard.

### Ensaaios

- **MV** – massa volúmica (estado fresco);
- $\lambda$  – condutibilidade térmica;
- **C<sub>abs</sub>** – coeficiente de absorção por tubos de Karsten;
- **$\rho$**  – massa volúmica (estado endurecido);
- **E<sub>din</sub>** – módulo de elasticidade dinâmico;
- **R<sub>t</sub>** – resistência à tracção;
- **R<sub>c</sub>** – resistência à compressão;
- **P<sub>ab</sub>** – porosidade aberta;
- **MV<sub>ap</sub>** – massa volúmica aparente;
- **CC** – coeficiente de capilaridade;
- **VA** – valor assíptótico;
- **IS** – índice de secagem;
- **TS** – taxa de secagem;
- **AB** – Aqua Behaviour.

# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.	ENQUADRAMENTO .....	1
1.2.	OBJECTIVOS E METODOLOGIA .....	2
1.3.	ESTRUTURA .....	2
<b>2.</b>	<b>ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
2.1.	CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO COMO FUTURO DAS CIDADES E DO SECTOR DA CONSTRUÇÃO .....	5
2.2.	CONHECIMENTO DA CAL AÉREA .....	8
2.3.	USO DAS ARGAMASSAS EM REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE REBOCOS .....	8
2.4.	MATERIAIS DAS ARGAMASSAS .....	10
2.4.1.	<i>Ligante: Cal aérea.....</i>	<i>10</i>
2.4.2.	<i>Pozolana: Metacaulino.....</i>	<i>11</i>
2.4.3.	<i>Agregado e água.....</i>	<i>12</i>
2.5.	CARACTERÍSTICAS PRECONIZADAS PARA ARGAMASSAS.....	13
2.6.	ARGAMASSAS DE CAL AÉREA E METACAUULINO.....	16
<b>3.</b>	<b>CAMPANHA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>19</b>
3.1.	INTRODUÇÃO .....	19
3.2.	ORGANIZAÇÃO DA CAMPANHA EXPERIMENTAL .....	19
3.2.1.	<i>Caracterização dos constituintes.....</i>	<i>19</i>
3.2.2.	<i>Ensaio em estado fresco.....</i>	<i>19</i>
3.2.3.	<i>Caracterização dos suportes .....</i>	<i>20</i>
3.2.4.	<i>Ensaio em estado endurecido .....</i>	<i>20</i>
3.2.5.	<i>Aplicações e avaliação visual do comportamento de rebocos sobre murete</i>	<i>20</i>
3.3.	MATERIAIS.....	20
3.3.1.	<i>Cal aérea .....</i>	<i>20</i>
3.3.2.	<i>Metacaulino.....</i>	<i>21</i>
3.3.3.	<i>Agregado .....</i>	<i>21</i>
3.3.4.	<i>Água.....</i>	<i>22</i>
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS .....	22
3.4.1.	<i>Análise granulométrica das areias.....</i>	<i>22</i>
3.4.2.	<i>Baridade .....</i>	<i>23</i>
3.5.	PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS.....	24

3.5.1.	<i>Traços e quantidades</i> .....	24
3.5.2.	<i>Amassaduras</i> .....	25
3.5.3.	<i>Ensaio às argamassas em estado fresco</i> .....	26
3.5.3.1	Consistência por espalhamento.....	26
3.5.3.2	Massa volúmica .....	27
3.5.3.3	Teor em ar.....	27
3.5.3.4	Retenção de água .....	28
3.6.	PRODUÇÃO DE PROVETES .....	29
3.6.1.	<i>Execução de provetes prismáticos</i> .....	29
3.7.	EXECUÇÃO DE PROVETES EM SUPORTE DE TIJOLO .....	31
3.8.	EXECUÇÃO DE REBOCO SOBRE MURETE DE TIJOLO .....	32
3.8.1.	<i>Introdução</i> .....	32
3.8.2.	<i>Planeamento</i> .....	32
3.8.3.	<i>Execução do parque de muretes</i> .....	33
3.8.4.	<i>Execução dos rebocos</i> .....	35
3.9.	CONDIÇÕES DE CURA.....	36
3.9.1.	<i>Cura standard (S)</i> .....	37
3.9.2.	<i>Cura húmida (H)</i> .....	37
3.9.3.	<i>Cura marítima (M)</i> .....	38
3.9.4.	<i>Cura em exposição natural na FCT-UNL</i> .....	39
3.10.	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SUPORTE – TIJOLO FURADO .....	39
3.10.1.	<i>Condutibilidade térmica aproximada do tijolo furado</i> .....	39
3.10.2.	<i>Absorção de água sob baixa pressão do tijolo furado</i> .....	40
3.11.	ENSAIOS ÀS ARGAMASSAS EM ESTADO ENDURECIDO .....	41
3.11.1.	<i>Ensaio em provetes em suporte de tijolo</i> .....	41
3.11.1.1	Organização dos ensaios.....	41
3.11.1.2	Dureza superficial .....	42
3.11.1.3	Condutibilidade térmica.....	42
3.11.1.4	Compacidade das argamassas recorrendo aos ultra-sons .....	43
3.11.1.5	Absorção de água sob baixa pressão.....	44
3.11.1.6	Coesão superficial.....	45
3.11.2.	<i>Ensaio em provetes prismáticos</i> .....	45
3.11.2.1	Organização dos ensaios.....	45
3.11.2.2	Condutibilidade térmica.....	46
3.11.2.3	Massa volúmica .....	46
3.11.2.4	Módulo de elasticidade dinâmico .....	47
3.11.2.5	Resistência à tração por flexão .....	47
3.11.2.6	Carbonatação .....	49



3.11.2.7	Resistência à compressão .....	49
3.11.2.8	Porosidade aberta e massa volúmica aparente.....	50
3.11.2.9	Absorção de água por capilaridade.....	52
3.11.2.10	Secagem .....	54
3.11.2.11	Resistência a sulfatos .....	55
<b>4.</b>	<b>EXPOSIÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1.	RESULTADOS DO ENSAIO DE BARIDADE .....	59
4.2.	RESULTADOS DOS ENSAIOS ÀS ARGAMASSAS EM ESTADO FRESCO .....	59
4.2.1.	<i>Consistência por espalhamento e massa volúmica .....</i>	<i>59</i>
4.2.2.	<i>Teor em ar .....</i>	<i>60</i>
4.2.3.	<i>Retenção de água .....</i>	<i>60</i>
4.3.	RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO SUPORTE – ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO.....	61
4.4.	RESULTADOS DOS ENSAIOS ÀS ARGAMASSAS EM ESTADO ENDURECIDO .....	62
4.4.1.	<i>Provetes em suporte de tijolo .....</i>	<i>62</i>
4.4.1.1	Dureza superficial .....	62
4.4.1.2	Condutibilidade térmica .....	63
4.4.1.3	Velocidade de propagação de ultra-sons .....	64
4.4.1.4	Absorção de água sob baixa pressão .....	66
4.4.1.5	Coesão superficial .....	71
4.4.2.	<i>Provetes prismáticos.....</i>	<i>72</i>
4.4.2.1	Condutibilidade térmica .....	72
4.4.2.2	Massa volúmica.....	73
4.4.2.3	Módulo de elasticidade dinâmico .....	74
4.4.2.4	Resistência à tracção .....	77
4.4.2.5	Carbonatação.....	79
4.4.2.6	Resistência à compressão .....	80
4.4.2.7	Porosidade aberta .....	83
4.4.2.8	Massa volúmica aparente .....	85
4.4.2.9	Absorção de água por capilaridade.....	86
4.4.2.10	Secagem .....	91
4.4.2.11	Resistência aos sulfatos.....	96
4.4.3.	<i>Rebocos sobre o murete.....</i>	<i>99</i>
4.4.3.1	Amassaduras para camada base .....	99
4.4.3.2	Análise visual aos 7 dias de cura.....	99
4.4.3.3	Análise visual aos 14 dias de cura.....	101
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
5.1.	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS NO PRESENTE ESTUDO .....	107

5.1.1.	<i>Estado fresco</i> .....	107
5.1.2.	<i>Parâmetros mecânicos</i> .....	108
5.1.3.	<i>Comportamento face à água</i> .....	109
5.1.4.	<i>Porosidade aberta e massa volúmica aparente</i> .....	112
5.1.5.	<i>Condutibilidade térmica: provetes em suporte de tijolo vs. prismáticos</i> ..	114
5.1.6.	<i>Porosidade aberta e condutibilidade térmica</i> .....	116
5.1.7.	<i>Porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos</i> .....	117
5.1.8.	<i>Rc/Rt e resistência aos sulfatos</i> .....	118
5.1.9.	<i>Classificação das argamassas segundo a norma EN 998-1</i> .....	119
5.1.10.	<i>Verificação das características das argamassas para utilização em edifícios antigos</i> .....	120
5.2.	<b>COMPARAÇÃO DE VALORES OBTIDOS COM OS OBTIDOS POR OUTROS AUTORES</b>	121
5.2.1.	<i>Comparação de características de argamassas em cura húmida</i> .....	121
5.2.1.1	Parâmetros mecânicos .....	122
5.2.1.2	Comportamento face à água .....	125
5.2.1.3	Porosidade aberta.....	129
5.2.1.4	Resistência aos sulfatos .....	131
5.2.2.	<i>Comparação de características de argamassas em cura marítima</i> .....	132
5.2.2.1	Parâmetros mecânicos .....	133
5.2.2.2	Comportamento face à água .....	135
5.2.2.3	Porosidade aberta.....	138
5.2.3.	<i>Comparação de características de argamassas em cura standard</i> .....	139
5.2.3.1	Parâmetros mecânicos .....	139
5.2.3.2	Comportamento face à água .....	141
5.2.3.3	Porosidade aberta.....	144
5.2.4.	<i>Comparação das curas realizadas com a de aspersão</i> .....	145
5.2.4.1	Provetes em suporte de tijolo.....	145
5.2.4.2	Parâmetros mecânicos em suportes prismáticos .....	147
5.2.4.3	Comportamento face à água em provetes prismáticos .....	147
5.2.4.4	Porosidade aberta e massa volúmica aparente em provetes prismáticos .....	148
5.2.4.5	Resistência aos sulfatos em provetes prismáticos .....	149
5.2.4.6	Condutibilidade térmica em provetes prismáticos .....	149
5.2.5.	<i>Comparação visual de argamassas em cura de exposição natural aplicadas em rebocos</i> .....	149
6.	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b> .....	151
6.1.	CONCLUSÕES GERAIS.....	151
6.2.	PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO .....	154

<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>163</b>
ANEXO I – FICHA TÉCNICA DA CAL AÉREA.....	164
ANEXO II – FICHA TÉCNICA DO METACAUPLINO.....	165
ANEXO III – DADOS DAS CONDIÇÕES DE CURA HÚMIDA .....	166
ANEXO IV – RESULTADOS INDIVIDUAIS .....	167



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Cal aérea hidratada em pó Lusical H100 .....	21
Figura 3.2 – Metacaulino Argical M 1200S.....	21
Figura 3.3 – Areias APAS 12, APAS 20 e APAS 30.....	22
Figura 3.4 – Curva granulométrica das areias e da mistura de areias (Massena, 2011).....	23
Figura 3.5 – Pesagem dos materiais, homogeneização manual, misturadora mecânica e início de amassadura.....	26
Figura 3.6 – Material, compactação com pilão e medição do espalhamento após as 15 pancadas .....	27
Figura 3.7 – Recipiente, de volume conhecido, cheio e rasado com argamassa para medição de massa volúmica .....	27
Figura 3.8 – Equipamento de medição do teor em ar.....	28
Figura 3.9 – Rasamento do molde antes das 4 pancadas, colocação da gaze e dos filtros e conjunto invertido sobre a placa de vidro.....	29
Figura 3.10 – Compactação mecânica e molde rasado .....	30
Figura 3.11 – Espessura de argamassa de 1,5 cm de provetes em suporte de tijolo .....	31
Figura 3.12 – Tijolo centrado no molde e sistema com o afastador encaixado.....	31
Figura 3.13 – Planta de implementação dos muretes .....	33
Figura 3.14 – Cofragem colocada e solo compactado.....	34
Figura 3.15 – Transporte, vibração manual e rasagem do betão.....	34
Figura 3.16 – Alinhamento dos muretes ao longo da colocação de fiadas de tijolo .....	34
Figura 3.17 – Pormenor do capeamento de telhas tipo marseilha .....	35
Figura 3.18 – Aplicação do chapisco .....	35
Figura 3.19 – Aplicação da camada de base .....	36
Figura 3.20 – Alçados Sul e Norte com as respectivas disposições das argamassas .....	36
Figura 3.21 – Sala de cura standard .....	37
Figura 3.22 – Sala de cura húmida.....	38
Figura 3.23 – Local da cura marítima .....	38
Figura 3.24 – Apresentação cromática das argamassas CL, CL_10Mk e CL_20Mk aos 90 dias de cura marítima.....	41
Figura 3.25 – Medição de dureza superficial com durómetro.....	42
Figura 3.26 – Ensaio de condutibilidade térmica em provete em suporte de tijolo .....	43
Figura 3.27 – Marcação dos espaçamentos de 10 cm, colocação dos transdutores nos pontos A e F e leitura dos tempos.....	44

Figura 3.28 – Provetes preparados e ensaio de absorção de água sob baixa pressão a decorrer .....	44
Figura 3.29 – Organigrama dos ensaios .....	45
Figura 3.30 – Medição da condutibilidade térmica em provete prismático .....	46
Figura 3.31 – Medição do comprimento e largura .....	46
Figura 3.32 – Ensaio de módulo de elasticidade com ZEUS Resonance Meter.....	47
Figura 3.33 – Ensaio de resistência à tração por flexão em máquina universal Zwick/Rowell .....	48
Figura 3.34 – Aspecto do provete no fim do ensaio de resistência à tracção por flexão, após a rotura.....	49
Figura 3.35 – Ensaio de resistência à compressão .....	49
Figura 3.36 – Aspecto do provete no fim do ensaio de resistência à compressão, após a rotura.....	50
Figura 3.37 – Exsicador em vácuo na primeira fase do ensaio e com água .....	51
Figura 3.38 – Suporte da balança para pesagem hidrostática.....	51
Figura 3.39 – Balança utilizada nos ensaios de porosidade aberta e massa volúmica aparente.....	51
Figura 3.40 – Colocação da película aderente, balança com a caixa de petri e ensaio de absorção de águas por capilaridade .....	53
Figura 3.41 – Disposição dos provetes durante o ensaio de secagem .....	54
Figura 3.42 – Caixa utilizada para o ensaio de resistência aos sulfatos e disposição dos provetes durante imersão .....	56
Figura 4.1 – Quantidade de água absorvida pelo tijolo furado a cada instante .....	61
Figura 4.2 – Dureza superficial de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	62
Figura 4.3 – Condutibilidade térmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias, em provetes em suporte de tijolo .....	63
Figura 4.4 – Velocidade de propagação de ultra-sons de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias de cura .....	65
Figura 4.5 – Velocidade de propagação de ultra-sons de todas as argamassas aos 28 (a), 90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura.....	65
Figura 4.6 – Coeficiente de absorção de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	68
Figura 4.7 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 28 dias .....	68
Figura 4.8 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 28 dias .....	69
Figura 4.9 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 90 dias .....	69
Figura 4.10 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 90 dias .....	70
Figura 4.11 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 180 dias .....	70
Figura 4.12 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 180 dias .....	71

Figura 4.13 – Arrancamento na argamassa CL (h) aos 90 dias.....	71
Figura 4.14 – Arrancamento na argamassa CL (h) aos 180 dias.....	72
Figura 4.15 – Condutibilidade térmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias, em provetes prismáticos .....	73
Figura 4.16 – Massa volúmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	74
Figura 4.17 – Módulo de elasticidade dinâmico de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias.....	75
Figura 4.18 – Módulo de elasticidade dinâmico e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias.....	75
Figura 4.19 – Módulo de elasticidade dinâmico e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias.....	76
Figura 4.20 – Módulo de elasticidade dinâmico e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias.....	76
Figura 4.21 – Resistência à tracção de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias.....	77
Figura 4.22 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias .....	78
Figura 4.23 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias .....	79
Figura 4.24 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias .....	79
Figura 4.25 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL de curas (m), (h) e (s) .....	80
Figura 4.26 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL_10Mk de curas (m), (h) e (s).....	80
Figura 4.27 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL_20Mk de curas (m), (h) e (s).....	80
Figura 4.28 – Resistência à compressão de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias.....	81
Figura 4.29 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias .....	82
Figura 4.30 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias .....	82
Figura 4.31 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias .....	83
Figura 4.32 – Porosidade aberta de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias.....	84
Figura 4.33 – Porosidade aberta de todas as argamassas aos 28 (a),90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura.....	84
Figura 4.34 – Massa volúmica aparente de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias.....	85
Figura 4.35 – Massa volúmica aparente de todas as argamassas aos 28 (a), 90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura.....	86
Figura 4.36 – Valor assintótico de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	87

Figura 4.37 – Coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	87
Figura 4.38 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 28 dias .....	88
Figura 4.39 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 28 dias de cura.....	89
Figura 4.40 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 90 dias .....	89
Figura 4.41 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 90 dias de cura.....	90
Figura 4.42 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 180 dias .....	90
Figura 4.43 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 180 dias de cura.....	91
Figura 4.44 – Taxa de secagem de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	92
Figura 4.45 – Índice de secagem de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	93
Figura 4.46 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 28 dias .....	93
Figura 4.47 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 28 dias.....	94
Figura 4.48 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 90 dias .....	94
Figura 4.49 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 90 dias.....	95
Figura 4.50 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 180 dias .....	95
Figura 4.51 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 180 dias.....	96
Figura 4.52 – Resistência aos sulfatos aos 28 dias.....	96
Figura 4.53 – Retenção inicial de sulfatos aos 90 dias.....	97
Figura 4.54 – Resistência aos sulfatos aos 90 dias.....	97
Figura 4.55 – Retenção inicial de sulfatos aos 180 dias.....	98
Figura 4.56 – Resistência aos sulfatos aos 180 dias.....	98
Figura 4.57 – Argamassas CL, CL_10Mk e CL_20Mk para camada de base .....	99
Figura 4.58 – Paramento orientado a Sul .....	99
Figura 4.59 – Paramento orientado a Norte.....	100
Figura 4.60 – Reboco de argamassa CL orientada a Sul e a Norte .....	100
Figura 4.61 – Reboco de argamassa CL_10Mk orientada a Sul e a Norte.....	100
Figura 4.62 – Reboco de argamassa CL_20Mk orientada a Sul e a Norte.....	101
Figura 5.1 – Comparação entre espalhamento e retenção de água.....	107
Figura 5.2 – Comparação entre espalhamento e massa volúmica .....	107
Figura 5.3 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 28 dias .....	108
Figura 5.4 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 90 dias .....	108
Figura 5.5 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 180 dias .....	109
Figura 5.6 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 28 dias .....	109
Figura 5.7 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 90 dias .....	110
Figura 5.8 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 180 dias .....	110



Figura 5.9 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 28 dias.....	111
Figura 5.10 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias.....	111
Figura 5.11 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 180 dias.....	111
Figura 5.12 – Aqua Behaviour de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias .....	112
Figura 5.13 – Comparação entre porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 28 dias.....	113
Figura 5.14 – Comparação entre porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 90 dias.....	113
Figura 5.15 – Comparação entre porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 180 dias.....	114
Figura 5.16 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 28 dias .....	114
Figura 5.17 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 90 dias .....	115
Figura 5.18 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias .....	115
Figura 5.19 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 28 dias .....	116
Figura 5.20 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 90 dias .....	116
Figura 5.21 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 180 dias .....	117
Figura 5.22 – Comparação entre valores de porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos aos 90 dias .....	117
Figura 5.23 – Comparação entre valores de porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos aos 180 dias .....	118
Figura 5.24 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio $R_c/R_t$ aos 28 dias .....	118
Figura 5.25 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio $R_c/R_t$ aos 90 dias .....	119
Figura 5.26 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio $R_c/R_t$ aos 180 dias .....	119
Figura 5.27 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 28 dias.....	122

Figura 5.28 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 90 dias.....	123
Figura 5.29 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 180 dias.....	124
Figura 5.30 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 28 dias.....	126
Figura 5.31 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 90 dias.....	126
Figura 5.32 – Comparação do valor de taxa de secagem de argamassas em cura húmida aos 90 dias .....	127
Figura 5.33 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 180 dias.....	128
Figura 5.34 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura húmida aos 180 dias.....	129
Figura 5.35 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura húmida aos 180 dias .....	129
Figura 5.36 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 28 dias .....	130
Figura 5.37 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 90 dias .....	130
Figura 5.38 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 180 dias .....	131
Figura 5.39 – Comparação do valor de perda de massa por ataque de sulfatos de argamassas em cura húmida aos 28 dias.....	131
Figura 5.40 – Comparação do valor de perda de massa por ataque de sulfatos de argamassas em cura húmida aos 90 dias.....	132
Figura 5.41 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima aos 28 dias .....	133
Figura 5.42 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima aos 90 dias .....	134
Figura 5.43 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura marítima aos 28 dias.....	135
Figura 5.44 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura marítima aos 28 dias .....	136
Figura 5.45 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura marítima aos 28 dias .....	136

Figura 5.46 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura marítima aos 90 dias.....	137
Figura 5.47 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura marítima aos 90 dias.....	137
Figura 5.48 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura marítima aos 90 dias.....	138
Figura 5.49 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura marítima aos 28 dias.....	138
Figura 5.50 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura marítima aos 90 dias.....	139
Figura 5.51 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard aos 28 dias.....	139
Figura 5.52 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard aos 90 dias.....	140
Figura 5.53 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura standard aos 28 dias.....	141
Figura 5.54 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura standard aos 28 dias.....	142
Figura 5.55 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura standard aos 28 dias.....	142
Figura 5.56 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura standard aos 90 dias.....	143
Figura 5.57 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura standard aos 90 dias.....	143
Figura 5.58 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura standard aos 90 dias.....	143
Figura 5.59 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura standard aos 28 dias.....	144
Figura 5.60 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura standard aos 90 dias.....	144
Figura 5.61 – Comparação do valor de dureza superficial em argamassas de referência aos 28 e 90 dias.....	145
Figura 5.62 – Comparação do valor de condutibilidade térmica em argamassas de referência aos 28 e 90 dias.....	146
Figura 5.63 – Comparação do valor de velocidade aparente de ultra-sons em argamassas de referência aos 28 e 90 dias.....	146

Figura 5.64 – Comparação do valor de coeficiente de absorção total em argamassas de referência aos 28 e 90 dias.....	146
Figura 5.65 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas de referência aos 90 dias.....	147
Figura 5.66 – Comparação entre valores de índice de secagem e valor assintótico de argamassas de referência aos 90 dias.....	148
Figura 5.67 – Comparação entre valores de coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas de referência aos 90 dias .....	148
Figura 5.68 – Comparação entre valores de porosidade aberta e massa volúmica de argamassas de referência aos 90 dias.....	148
Figura 5.69 – Comparação de valores de resistência aos sulfatos de argamassas de referência aos 90 dias .....	149
Figura 5.70 – Comparação de valores de condutibilidade térmica de argamassas de referência aos 90 dias .....	149

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Previsão da evolução do nível de conservação na cidade de Lisboa de 2011 a 2024	7
Quadro 2.2 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (IPQ, 2010)	14
Quadro 2.3 – Requisitos gerais quanto a algumas características aos 90 dias das argamassas de revestimento para edifícios antigos (Veiga <i>et al.</i> , 2010)	14
Quadro 2.4 – Exigências funcionais de diferentes aplicações de argamassas (Henriques e Faria, 2008)	15
Quadro 3.1 – Composição química da cal aérea (Gameiro <i>et al.</i> , 2012)	20
Quadro 3.2 – Massa volúmica da água em função da temperatura	23
Quadro 3.3 – Dosagens dos constituintes das argamassas	25
Quadro 3.4 – Traços volumétricos e ponderais	25
Quadro 3.5 – Quadro síntese da organização dos provetes prismáticos	30
Quadro 3.6 – Quadro de organização dos provetes prismáticos suplentes	30
Quadro 3.7 – Quadro síntese da organização dos provetes em suporte de tijolo	32
Quadro 3.8 – Caracterização do tijolo furado (Dias, 2013 - Jamú, 2013)	40
Quadro 4.1 – Baridades dos constituintes	59
Quadro 4.2 – Relações água/cal aérea, água/metacaulino e água/ligante	59
Quadro 4.3 – Médias e desvios padrão dos valores de espalhamento e valores de massa volúmica	60
Quadro 4.4 – Valores de teor em ar	60
Quadro 4.5 – Médias e desvios padrão dos valores de retenção de água	61
Quadro 4.6 – Valores individuais, médias e desvios padrão de absorção de água sob baixa pressão	61
Quadro 4.7 – Médias e desvios padrão dos valores de dureza superficial	62
Quadro 4.8 – Médias e desvios padrão dos valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo	63
Quadro 4.9 – Médias e desvios padrão dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons	64
Quadro 4.10 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas de referência, aos 28, 90 e 180 dias	66
Quadro 4.11 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas com substituição de 10%, aos 28, 90 e 180 dias	67
Quadro 4.12 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas com substituição de 20%, aos 28, 90 e 180 dias	67

Quadro 4.13 – Médias e desvios padrão dos valores de condutibilidade térmica em provetes prismáticos	72
Quadro 4.14 – Médias e desvios padrão dos valores de massa volúmica	73
Quadro 4.15 – Médias e desvios padrão dos valores do módulo de elasticidade dinâmico	74
Quadro 4.16 – Médias e desvios padrão dos valores de resistência à tracção	77
Quadro 4.17 – Médias e desvios padrão dos valores de resistência à compressão	81
Quadro 4.18 – Médias e desvios padrão dos valores de porosidade aberta	83
Quadro 4.19 – Médias e desvios padrão dos valores de massa volúmica aparente	85
Quadro 4.20 – Médias e desvios padrão dos valores do valor assíntótico e do coeficiente de capilaridade	86
Quadro 4.21 – Médias e desvios padrão dos valores de taxa de secagem	91
Quadro 4.22 – Médias e desvios padrão dos valores de índice de secagem	92
Quadro 5.1 – Síntese dos resultados dos ensaios em estado fresco	103
Quadro 5.2 – Síntese dos resultados dos ensaios em provetes de suporte em tijolo	104
Quadro 5.3 – Síntese dos resultados dos ensaios em provetes prismáticos	105
Quadro 5.4 – Classificação das argamassas segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010)	120
Quadro 5.5 – Verificação das características das argamassas para aplicação em revestimento para edifícios antigos (Veiga <i>et al.</i> , 2010)	120
Quadro 5.6 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 28 dias	123
Quadro 5.7 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 90 dias	124
Quadro 5.8 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 180 dias	125
Quadro 5.9 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima, em relação a CL (m), aos 28 dias	134
Quadro 5.10 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima, em relação a CL (m), aos 90 dias	135
Quadro 5.11 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard, em relação a CL (s), aos 28 dias	140
Quadro 5.12 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard, em relação a CL (s), aos 90 dias	141

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

O uso de cal como material de construção remonta ao Paleolítico (Malinowski e Garfinkel, 1991). A cal aérea foi o ligante mais utilizado até ao aparecimento da cal hidráulica no séc. XVIII, caindo ambas em desuso, quando no início do séc. XIX, foi generalizado o uso de cimento Portland, que as veio substituir (Alarcão, 1978). Esta substituição deu-se em parte pelo privilegiar, na óptica de quem aplicava, da resistência e endurecimento a curto prazo (Faria, 2004).

A proliferação das argamassas de cimento levou ao seu uso indiscriminado, devido ao progressivo esquecimento dos materiais e aplicação das argamassas tradicionais. As necessárias intervenções ao nível do património edificado mostraram que a utilização de argamassas de cimento é, na maior parte dos casos, inadequada e nefasta. As principais razões pelas quais se verificam estes efeitos negativos são a rigidez elevada, que leva à incompatibilidade mecânica com as argamassas originalmente aplicadas, o alto teor em sais solúveis (Velosa *et al.*, 2009) e baixa permeabilidade ao vapor de água (Faria *et al.*, 2008), que podem levar ao agravamento de algumas patologias em obras de conservação, e porventura a mais importante, a fraca reversibilidade, uma vez que se pretende que “qualquer intervenção de conservação não torne impossível mas, antes, facilite as eventuais intervenções futuras” (Brandi, 1963).

Além do já referido, a sustentabilidade é hoje um factor essencial. E no que toca à sustentabilidade, há que considerar as vertentes ambiental, energética e económica. Em todas elas, este tipo de argamassas apresenta vantagens. A nível ambiental e económico relativamente à sua durabilidade e em relação às três vertentes verificam-se vantagens na fase de produção dos constituintes, uma vez que as temperaturas de cozedura são consideravelmente inferiores, quer no caso da cal, quer do metacaulino, quando comparadas com as do cimento. Isto significa que estas argamassas, para além de uma evidente mais-valia em reabilitação, podem trazer vantagens no que se refere a aplicação em construção nova.

A adição de metacaulino em argamassas de cal aérea confere-lhes características hidráulicas e eventuais melhorias ao nível do comportamento mecânicos e da durabilidade (Faria, 2009).

Este estudo vem no seguimento de outros sobre as características de argamassas com diferentes teores de metacaulino, inseridos nos projectos de investigação financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia METACAL (PTDC/ECM/100431/2008: Estudo de argamassas de cal aérea e metacaulino para conservação de edifícios antigos) e LIMECONTECH, com os objectivos de se obterem progressos científicos no domínio das propriedades intrínsecas aos revestimentos à base de argamassas de cal com metacaulino e de contribuir para um maior conhecimento relativo à conservação de revestimentos com base em cal, com incidência também nas características de aplicabilidade em rebocos das argamassas.

## 1.2. Objectivos e metodologia

O objectivo da presente dissertação é contribuir para complementar o conhecimento de argamassas realizadas com base em cal aérea e areia, ao traço volumétrico 1:2, considerando os efeitos de substituições parciais de massa de cal por metacaulino, de condições diferenciadas de cura e ainda da evolução das suas propriedades com o tempo de cura. Pretende-se assim estudar a influência destes factores sobre as características físicas e mecânicas das argamassas.

O conhecimento destas características permite avaliar onde e em que condições, a aplicação destas argamassas é mais adequada, sobretudo ao nível da reabilitação e conservação de rebocos e no refechamento de juntas em edifícios, mas também em construção nova, ou seja, em alvenaria corrente.

Para tal enunciaram-se, executaram-se provetes e caracterizaram-se argamassas com base em cal aérea hidratada em pó, partindo de um traço volumétrico 1:2 de cal aérea e areia e progredindo para argamassas em que 10% e 20% da massa de cal aérea foi substituída por uma pozolana artificial comercial – um metacaulino. Para além de ter em conta a influência do traço em metacaulino, foram ainda diferenciados os ambientes de cura (standard, húmida e marítima) e a caracterização decorreu aos 28, 90 e 180 dias. Estas argamassas foram ainda aplicadas, sob a forma de reboco, em painéis sobre muretes em alvenaria corrente de tijolo, que permitiram avaliar as condições de aplicação em contexto real e o comportamento, visível, a curto prazo, em condições de exposição natural.

## 1.3. Estrutura

A dissertação está dividida em seis capítulos, bibliografia e anexos.

No presente capítulo faz-se um enquadramento do tema, descrevem-se os objectivos do estudo e apresenta-se a estrutura de disposição do texto.

O segundo capítulo refere-se ao estado do conhecimento sobre as matérias envolvidas neste trabalho, enquadrando-o na importância da reabilitação e conservação no sector da construção, elabora-se sobre a utilização das argamassas nesta actividade, apresentando os materiais envolvidos na sua produção e as características das argamassas. Finalmente são apresentados outros trabalhos relevantes realizados nesta área para comparação e enquadramentos dos resultados obtidos no presente estudo.

No terceiro capítulo descreve-se a campanha experimental propriamente dita. A sua organização e planeamento, apresentação dos materiais utilizados e suas características, produção de argamassas, execução de provetes laboratoriais, sua cura e ensaios realizados e a realização de aplicação de rebocos sobre muretes de tijolo.

No quarto capítulo são apresentados em tabelas os resultados obtidos nos ensaios e analisados com recurso a figuras contendo gráficos. Comparam-se os resultados das diferentes argamassas



ao longo da idade, e avaliando a variação dos resultados em função das diferentes quantidades de metacaulino adicionado e das alterações provocadas pelas diferentes curas.

Num quinto capítulo são compilados todos os resultados decorrentes dos ensaios e cruzados, nos casos em que faz sentido, entre si e com os resultantes de outros trabalhos de referência, cuja bibliografia foi consultada.

No sexto e último capítulo expõem-se as conclusões e apresentam-se possíveis trabalhos de desenvolvimento futuro, que podem ser realizados no âmbito do tema da presente dissertação.

Em anexo encontram-se fichas técnicas dos materiais e dados de condições de cura relevantes.



## **2. ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO**

### **2.1. Conservação e reabilitação como futuro das cidades e do sector da construção**

A conjuntura actual já deixou perceber que a retoma económica portuguesa será um processo lento e exigirá soluções variadas e inovadoras.

A inovação deve ser centrada na melhoria da qualidade de vida das pessoas, e por via disso no apetrechamento das empresas, criadoras de emprego, para ir ao encontro das expectativas e exigências do mercado.

A sociedade civil e a engenharia, e os engenheiros em particular, têm um papel fulcral na inovação e garantia da sua sustentabilidade.

A crise económica actual é uma oportunidade para corrigir erros que vêm sendo praticados. Os Engenheiros têm de continuar a demonstrar que têm soluções à altura dos desafios da sociedade portuguesa (Ingenium, 2011).

O Bastonário da Ordem dos Engenheiros destacou a conservação do património e a reabilitação urbana como sectores estratégicos para o futuro das cidades e do sector da construção, indicando que, de acordo com o Relatório da Federação da Indústria Europeia da Construção, Portugal é um dos países com mais baixo investimento na reabilitação de edifícios residenciais (Ramos, 2011).

Também o presidente da Associação Empresarial de Portugal diz ser necessário modificar os conceitos de construção como tem sido ensinada e passar a orientar os cursos para reabilitação de construções existentes, pois há um vasto campo para a inovação tecnológica que deve constituir um novo desafio para engenheiros (Oliveira, 2011).

A reabilitação, além das vantagens inerentes ao próprio conceito, traz benefícios ao nível da economia local, empregabilidade, sustentabilidade e ainda promoção do turismo (Freitas, 2012).

As cidades vão assistindo à degradação progressiva das suas estruturas urbanas, dos seus edifícios, dos seus espaços exteriores, resultante do seu envelhecimento, da sobrecarga do uso e da falta de intervenção na sua manutenção.

Por outro lado verifica-se um significativo abrandamento na construção (e venda) de novas edificações, em resultado da grave crise económica que assola o país, com efeitos devastadores na indústria de construção civil.

A conjugação destes dois factores dá um novo impulso à tradicional preocupação do Estado e dos Municípios na criação de medidas de promoção e desenvolvimento de processos de reabilitação urbana, desejavelmente integrada, e com uma utilização racional de recursos, que habitual-

mente é acompanhada pela concessão de benefícios fiscais e pela redução de taxas municipais em obras de com um importante impacto na factura económica dos seus custos.

A Lei n.º 32/2012 de 14 de agosto procede à primeira alteração ao Decreto -Lei n.º 307/2009, de 23 de Outubro, que estabelece o regime jurídico da reabilitação urbana, e à 54.<sup>a</sup> alteração ao Código Civil, aprovando medidas destinadas a agilizar e a dinamizar a reabilitação urbana. Determina que compete às Câmaras Municipais desenvolverem a estratégia de reabilitação assumindo-se esta “como uma componente indispensável da política das cidades e da política de habitação, na medida em que nela convergem os objectivos de requalificação e revitalização das cidades, em particular das suas áreas mais degradadas, e de qualificação do parque habitacional, procurando-se um funcionamento globalmente mais harmonioso e sustentável das cidades e a garantia, para todos, de uma habitação condigna.”

No âmbito desta competência a Câmara Municipal de Lisboa elaborou um documento onde apresenta a Estratégia de Recuperação Urbana para Lisboa 2011-2024, e onde, sob a ideia geral “reabilitar a cidade até 2024”, são fixados objectivos específicos que constituem um compromisso a prosseguir. Assim o município propõe-se:

- Realizar obras de conservação/reabilitação:
  - a) na totalidade do património municipal de uso público (escolas, bibliotecas, equipamentos sociais, administrativos e desportivos e sedes das juntas de freguesia);
  - b) nos parques e jardins da cidade;
  - c) no parque residencial municipal.
- Tornar efectiva a realização periódica de obras de conservação em todo o edificado da cidade.
- Lançar um programa de dinamização e incentivos à reabilitação do edificado privado, com vista a que todos os edifícios identificados no Censo de 2011 como em mau e muito mau estado de conservação mas recuperáveis, sejam objecto de obras que lhes garantam um nível de conservação não inferior a Bom, de acordo com o método de avaliação do estado de conservação definido na regulamentação do Novo Regime do Arrendamento Urbano (MAMAOT, 2012).
- Assegurar que em todas as obras de reabilitação profunda de qualquer edifício serão introduzidas alterações estruturais para reduzir o risco sísmico.
- Lançar um programa de apoio à reabilitação e melhoria das condições de conforto, habitabilidade, segurança, de acessibilidade e eficiência energética de condomínios residenciais.

Esta Estratégia de Reabilitação para Lisboa 2011-2024 construída com base no levantamento efectuado ao estado de conservação do edificado, do espaço público, apresenta uma primeira estimativa do investimento a realizar na reabilitação da Cidade, em articulação com as restantes políticas municipais, nomeadamente nos domínios do urbanismo, habitação, acção social, cultura, mobilidade, ambiente urbano, economia, património imobiliário e finanças.

Para estabelecer princípios, as bases e os fundamentos da Estratégia de Reabilitação para Lisboa 2010-2024 a C.M.L. realizou um diagnóstico, definiu objectivos e formulou medidas/acções. A estratégia definida assenta em sete pilares, dos quais se salienta o sexto - tornar efectiva a obrigatoriedade da conservação periódica do edificado e o restauro do património classificado. O documento considera que um bom resultado consistiria na reabilitação de 75% do *stock* habitacional até 2014.

O documento reconheceu, também, que em 2011, 2012 e 2013, devido à falta de fundos financeiros, o processo não teria um arranque rápido, mas considerou que os anos 2014 e seguintes já reflectirão uma importante retoma imobiliária e que, no caso de Lisboa, será centrada e ancorada na reabilitação.

Apresenta-se a seguir a projecção do que a C.M.L. considera poder vir a ser o número de fogos intervencionados e o montante do investimento imobiliário na manutenção e recuperação de edifícios habitacionais até 2024 em Lisboa. Assim:

A C.M.L. estima que o *stock* existente em 2011, organizado por nível de conservação, será progressivamente objecto de intervenção pelo que, consequentemente, os fogos intervencionados deixarão de constar do nível “com necessidade” para passarem ao nível “sem necessidade de reparação”.

Comparativamente com 2011, a situação em 2024, caso se concretize o objectivo de reabilitação de cerca de 75% dos actuais fogos habitacionais clássicos, será a referida no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Previsão da evolução do nível de conservação na cidade de Lisboa de 2011 a 2024

Nível de Conservação	2011	2024	$\Delta$
<b>Fogos sem necessidade de reparação</b>	113.104	253.394	-
<b>Fogos com necessidade de reparação</b>	163.781	41.547	-74,6%
<b>Fogos muito degradados</b>	15.725	3.989	-74,6%
<b>TOTAL</b>	292.610	298.930	-

A necessidade de investimento, apurada pela C.M.L, calculada por aplicação de diferentes preços unitários, com base numa área média e nos diferentes níveis de conservação de edifícios, atinge o montante estimado, para o período em análise 2011-2024, de 7.054 milhões de euros (CML, 2011).

Embora a extrapolação deste valor para o território nacional não seja linear, podemos afirmar que a reabilitação urbana será, nos próximos anos, uma importante actividade refúgio da indústria de construção civil no território nacional, em particular para as pequenas e médias empresas.

A reintrodução de materiais e técnicas tradicionais nas intervenções a realizar no património mais antigo, ele próprio construído com estes materiais e utilizando estas técnicas, é uma necessidade de compatibilidade muito para além do nível estético. Foi este o ponto de partida para este estudo.

## **2.2. Conhecimento da cal aérea**

Tendo presente que a substituição de materiais tradicionais por materiais mais recentes e usuais na construção actual, trouxe consigo a perda de conhecimento e de domínio dos materiais tradicionais e de soluções construtivas com esses materiais dando origem a uma situação perniciosa, o facto de a análise de um qualquer edifício – novo ou antigo – estar condicionada, na maioria dos casos, pela formação e pelo conhecimento que os técnicos intervenientes têm dos materiais modernos, conduz a que em muitos casos os problemas não sejam equacionados por forma a tirar proveito dos materiais tradicionais ou, quando o são, essas opções sejam rejeitadas logo à partida (Henriques, 1991).

O recurso a argamassas correntes tem sido verificado em intervenções em alvenarias de edifícios antigos, de entre elas, o melhor exemplo são as argamassas à base de cimento. Por diversas razões, esta não é a escolha mais adequada para o efeito pretendido, devido a aspectos como: a aparência final da superfície, a presença de sais solúveis na sua constituição que tendem a migrar para o suporte, a rigidez excessiva e a capacidade limitada de secagem do suporte. Por outro lado, as argamassas que mais se aproximam das existentes são as argamassas com base em cal aérea, uma vez que permitem assegurar a compatibilidade estética e funcional (Veiga, 2003).

Apesar de, aparentemente, apresentar características muito favoráveis, o uso de cimento em edifícios antigos tem-se revelado inadequado. Não só se põe o problema da difícil substituição que ocorre quando um edifício é reparado recorrendo-se ao uso de argamassas de cimento, como os próprios revestimentos podem causar danos na própria alvenaria. Ainda que o recurso ao cimento não seja recomendável para revestimentos antigos, numa altura que os construtores já não sabem, ou nunca souberam, trabalhar com cal caem no erro de usarem as técnicas que melhor conhecem (Margalha, 2011).

## **2.3. Uso das argamassas em reabilitação e conservação de rebocos**

Podemos definir a conservação como o conjunto de acções destinadas a prolongar o tempo de vida de uma edificação e a reabilitação como o conjunto de operações destinado a aumentar os níveis de qualidade dum edifício, de modo a corresponder a exigências funcionais mais rigorosas do que as previstas na sua concepção. O conceito de reversibilidade prende-se com o facto de um material ou solução construtiva ter a possibilidade de ser removido no final da sua vida útil sem daí advirem danos nos materiais que com eles contactem (Henriques, 1991).

Está patente na Carta de Veneza, que as acções de conservação devem ser orientadas pela regra da intervenção mínima necessária à eficácia dessa mesma intervenção. A escolha dos materiais deve ser feita de acordo com a sua compatibilidade com os existentes em termos de característi-

cas físicas, químicas e mecânicas, bem como serem reversíveis ou, em último caso não comprometerem futuras intervenções (ICATHM, 1964).

No decorrer dos séculos, e no que à sua constituição e forma se refere, as paredes exteriores dos edifícios sofreram inúmeras alterações. Todavia, convém salientar que, desde a antiguidade até ao momento de disseminação do betão armado, estas apresentaram importantes características comuns: os materiais utilizados na sua constituição eram mais porosos e deformáveis, quando comparados com os actuais; relativamente aos agentes climáticos e às acções externas, as paredes exteriores acumulavam a função resistente com a função de protecção; e, por fim, as capacidades de resistência, de isolamento e de protecção eram asseguradas, essencialmente, através da espessura.

No âmbito desta temática, convém salientar um aspecto particularmente importante: a protecção contra a humidade. O modelo de funcionamento das paredes antigas – mais espessas e porosas e sem cortes de capilaridade –, admitia a entrada de água para o interior da alvenaria, mas evitava a sua permanência prolongada. Isto é, este modelo centrava-se na promoção da fácil e rápida saída para o exterior. Neste sentido, a ascensão capilar da água, através das fundações, fazia parte do funcionamento normal da parede, a qual rapidamente a expulsava por meio da evaporação (Veiga, 2003). Isto significa que a aplicação de argamassas com características diferentes (argamassas de cimento) altera a concepção inicial e é prejudicial para integridade da parede.

As intervenções em edifícios antigos devem ter em consideração o grau de severidade das anomalias, sendo que a primeira opção deverá ser sempre que possível, a conservação. É, contudo, complicado escolher a estratégia de intervenção mais apropriada. Ao nível dos rebocos de paredes podem assim definir-se quatro grandes níveis possíveis de intervenções, por ordem de severidade das anomalias (Veiga, 2003):

- Primeira: conservação do revestimento antigo através de operações de manutenção e de reparação pontual;
- Segunda: consolidação do revestimento existente, se o edifício ou o revestimento for de valor elevado;
- Terceira: substituição parcial em alguns paramentos, com recurso a revestimentos semelhantes aos antigos;
- Quarta: substituição da totalidade do reboco.

Em conservação, a preferência deve ser sempre dada à durabilidade da alvenaria existente que a argamassa protege, ao contrário do que se passa em construção nova, onde a principal preocupação é a durabilidade da nova argamassa. Deste modo fica estabelecido que o principal objectivo num projecto de conservação é a preservação física dos materiais e das estruturas existentes, sendo a função da argamassa escolhida contribuir para este objectivo durante o período em que se encontre funcional e, como já foi referido anteriormente, é muito importante que seja passível de ser removida no fim da sua vida útil (Henriques e Faria, 2006).

Igualmente importante é aplicação destes conceitos durante as intervenções de manutenção, definida nos dias que correm como “a combinação de todas acções técnicas, administrativas e de gestão, durante a vida activa de um bem (activo físico), destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida” (IPQ, 2007a). Esta concepção, tradicionalmente, não é aplicada em Portugal. A prática de manutenção preventiva depende significativamente do diagnóstico de desempenho em serviço e dos critérios de decisão para a selecção das tarefas de manutenção. Esta manutenção programada pode trazer vantagens de vários pontos de vista, entre os quais o económico (Flores-Colen *et al.*, 2010).

## **2.4. Materiais das argamassas**

### **2.4.1. Ligante: Cal aérea**

A cal aérea, como o próprio nome indica, é um ligante aéreo, o que significa que não endurece dentro de água devido à necessidade de contacto com o dióxido de carbono presente na atmosfera para que se dê a carbonatação (Sousa Coutinho, 1988).

A norma NP EN 459-1 (IPQ, 2011) classifica as cals aéreas em cal cálcica (CL) ou cal dolomítica (DL).

A cal utilizada no presente trabalho foi classificada como CL, o que implica, no caso, ser constituída principalmente por hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), sem adições hidráulicas ou pozolânicas. É uma cal hidratada, produzida através da extinção controlada da cal viva (Q) e que é comercializada sob a forma de pó (S).

Este material resulta inicialmente da cozedura de calcários puros (teor de impurezas  $\leq 5\%$ ), neste caso carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a cerca de  $900\text{ }^\circ\text{C}$  (muito inferior à temperatura de clinkerização para fabrico de cimento, superior a  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  e onde a temperatura da chama é de  $2000\text{ }^\circ\text{C}$  (Secil, 2013), denominada reacção de calcinação. Esta reacção dá origem a dióxido de carbono e óxido de cálcio que é normalmente designado por cal viva (Veiga e Faria, 1990).

A cal viva proveniente da reacção atrás referida, segundo a NP EN 459-1 (IPQ, 2011), consiste em óxido de cálcio produzido por calcinação da rocha calcária, produz uma reacção exotérmica, conduzindo a temperaturas superiores a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , quando em contacto com a água e pode apresentar-se desde a forma de pedra até pó fino. A cal sob esta forma é um produto altamente instável, razão pela qual necessita de ser hidratada, fenómeno esse normalmente designado por extinção da cal. Este processo consiste em imergir-se ou aspergir-se com água, o que provoca a transformação do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio por fragmentação, originando efervescência, produção de calor, libertação de vapores cáustico e aumento de volume. É o produto desta reacção que é usualmente identificado com cal apagada, extinta ou hidratada.

A cal aérea cálcica é fabricada industrialmente em fornos verticais de alvenaria, com revestimento refractário e actualmente no nosso país subsistem ainda alguns produtores artesanais (Margalha, 1997).



Para que se dê o endurecimento da cal é preciso que haja carbonatação, o que ocorre através da libertação de água quando em contacto com o dióxido de carbono, regressando o hidróxido de cálcio de novo a carbonato de cálcio.

Apesar do produto final ter a mesma composição química do inicial, as suas propriedades são bastante distintas por causa da reorganização mineralógica dos seus cristais, podendo levar à formação de bicarbonato de cálcio, caso se verifique um contacto quase permanente com a água.

As argamassas com altos teores de cal hidratada carbonatam mais lentamente devido à existência de maior quantidade de hidróxido de cálcio disponível num mesmo volume e à exigência de mais tempo para que se transforme em carbonato (Faria, 2004).

Da utilização de cal aérea como ligante advêm alguns problemas, tais como o endurecimento lento, tempos longos de carbonatação, retracção inicial elevada, resistências mecânicas baixas e fraca protecção face à água (Faria *et al.*, 2010).

Ao longo da história as cals desempenharam um papel único na construção e não podem ser vistas somente como um “material tradicional” porque se trata de um material de construção com qualidades assinaláveis. As vantagens mais significativas dos revestimentos efectuados com argamassas à base de cal aérea em relação ao uso de cimento, ou mesmo cals hidráulicas, são basicamente, serem mais permeáveis, mais deformáveis e terem menor teor de sais (Margalha, 2011).

#### **2.4.2. Pozolana: Metacaulino**

As pozolanas são materiais de superfície específica bastante elevada, ricos em sílica e/ou alumina no estado amorfo. No passado foram amplamente utilizados em argamassas mas, com o passar do tempo, caíram em desuso. Mais recentemente têm-lhes sido reconhecidas vantagens, tais como melhorias nas argamassas ao nível técnico, económico e ambiental (Faria, 2004).

As pozolanas ou adições são materiais que, por si só, não têm características de ligantes mas combinados com a cal à temperatura normal e na presença da água, formam compostos insolúveis estáveis que possuem as propriedades dos ligantes (Margalha, 2011).

O metacaulino é um material pozolânico artificial com origem natural, de granulometria muito fina. Não sendo um material novo, tem pouca visibilidade e uso em Portugal, embora haja condições propícias para a produção deste material em termos de recursos, pois as argilas cauliníticas são relativamente abundantes no território nacional (Santos Silva, 2011).

Através da calcinação de argilas ricas em caulinite (caulinos), a temperaturas entre 600 °C e 900 °C, origina-se o metacaulino. Mais especificamente, no decurso da fase de aquecimento, verifica-se que, por volta dos 100 °C o caulino perde a água absorvida, notando-se, aos 500 °C, a sua desidratação, com a formação de metacaulino. Importa salientar que, o aumento do aquecimento, para temperaturas a partir dos 900°C, potencia a nucleação de mulite e o desenvolvimento da fase vítrea (Santos Silva, 2011).

De acordo com as normas EN 197-1 (CEN, 2000) e NP 4220 (IPQ, 2010a), as pozolanas são substâncias de composição siliciosa ou sílico-aluminosa. Os materiais pozolânicos não endurecem por si próprios, quando misturados com água, mas, quando finamente moídos e na presença desta, reagem com o hidróxido de cálcio dos ligantes minerais com que se combinam (a cal aérea neste caso com níveis de hidróxido de cálcio livre acima da cal hidráulica e do cimento), para originarem compostos hidratados de silicato e aluminato de cálcio. Estes compostos são similares àqueles que são formados no endurecimento dos ligantes hidráulicos (Faria, 2004). Do mesmo modo, a ASTM C125 classifica uma pozolana como “um material silicioso e aluminoso que só por si possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas que quando dividida em partículas finas e na presença de humidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio a uma temperatura normal formando assim compostos que possuem propriedades cimentícias ” (ASTM, 2007). A reacção em causa designa-se por reacção pozolânica e desenvolve-se lentamente (Faria, 2004).

Por vezes é preciso fornecer hidraulicidade a argamassas de cal, quando as sílicas activas e os aluminatos não estão presentes ou não se apresentam na quantidade suficiente, estes podem ser adicionados por recurso a pozolanas, alterando as suas características em qualquer argamassa de cal (Gibbons, 1997).

A visão de Murat (Murat, 1983) é, também, relevante, visto que nos transmite que as pozolanas – naturais ou artificiais -, são materiais ricos em sílica e alumina em forma amorfa utilizadas na optimização da durabilidade das argamassas e do betão. Mais ainda, estas contribuem para a criação de produtos de construção mais sustentáveis, pois substituem, parcialmente, ligantes minerais, melhoram o seu desempenho a nível de durabilidade, aplicabilidade e consumo energético.

As pozolanas apresentam características fundamentais, para a sua utilização como adição. São elas, a sua capacidade de reacção com a cal aérea à temperatura ambiente e a formação - após esta reacção -, de produtos insolúveis com propriedades ligantes (Baronio e Binda, 1997).

Assim, podemos concluir que o metacaulino é extremamente relevante, uma vez que melhora a trabalhabilidade, o arranjo microestrutural, as resistências mecânicas das argamassas, a durabilidade e reduz, ainda, a permeabilidade (Pera *et al.*, 1998).

### **2.4.3. Agregado e água**

O componente que existe em maior quantidade numa argamassa são os agregados, que no caso desta dissertação vão ser constituídos unicamente por areias.

As areias são geralmente de areeiro ou de rio. De acordo com a sua origem e composição química, os agregados proporcionam diferentes características e comportamentos às argamassas em que são inseridos. Como analogia pode dizer-se que a areia funciona como o esqueleto da argamassa que ganha coesão através da união dos seus grãos ao ligante, pelo que, a qualidade do agregado é fundamental (Margalha, 2011).

Os factores com mais influência nas características das argamassas são a origem/mineralogia, a sua forma, dimensão e granulometria. Cada factor tem influência em características específicas das argamassas, sendo que a origem influencia as características mecânicas e químicas, a forma tem grande influência na resistência mecânica e na porosidade das argamassas, isto é, quanto mais angulares os agregados, maior a resistência mecânica, uma vez que partículas angulares preenchem melhor os espaços vazios e quanto mais arredondados, maiores os poros (no entanto esta característica pode ser contornada através da adição de outros agregados) (Dias, 2013).

A percentagem de água absorvida por argamassas de cal aérea com adição de metacaulino não é influenciada pela percentagem de cal presente na mistura, dependendo principalmente da razão água/ligante e areia/ligante (Billong *et al.*, 2009).

A água introduzida no processo de amassadura de uma argamassa é extremamente relevante, uma vez que influencia o seu comportamento e diversas propriedades. Mais concretamente, a água potencia o envolvimento dos agregados pelo ligante e contribui para o amadurecimento. Note-se que, uma das suas funções primordiais consiste em proporcionar à argamassa maior ou menor trabalhabilidade, isto é, maior ou menor facilidade de aplicação no estado fresco.

Convém ter presente que, a água introduzida em argamassas puras de cal aérea não reage da mesma forma que em argamassas hidráulicas, uma vez que as primeiras não consomem água na reacção do ligante e registam maior retracção inicial e, conseqüentemente, maior fendilhação, durante o processo de cura. Todavia, as argamassas de cal aérea têm a capacidade e necessidade de serem reapertadas, após ocorrer parte significativa da retracção inicial, eliminando, assim, essas fendas (Faria *et al.*, 2008). Tendo a relação água/ligante um papel preponderante na permeabilidade aos gases, é natural que tenha grande influência na velocidade de carbonatação.

No seio das propriedades afectadas pela quantidade de água existente numa argamassa destacam--se a retracção (quanto mais água, à partida, maior será a retracção) e as resistências mecânicas. Por conseguinte, a sua durabilidade é, também, afectada (Dias, 2013).

## **2.5. Características preconizadas para argamassas**

Para cada tipo de utilização de uma determinada argamassa, há características mínimas que têm de ser seguidas e estão definidas em norma, havendo outras que são aconselháveis e servem para aumentar os requisitos.

No caso do uso em rebocos, interiores e exteriores, estão definidas algumas propriedades obrigatórias que as argamassas têm de seguir, nomeadamente através da norma NP EN 998-1 (IPQ, 2010b). Isto significa que há categorias definidas para determinadas propriedades, em função de gamas de valores.

Para outro tipo de aplicações há múltiplas recomendações cujo cumprimento é de boa prática e resulta em aplicações duráveis, resolvendo variadas anomalias observadas anteriormente em

situações semelhantes, ou seja, a experiência de casos anteriores leva a que se evitem a repetição de erros, aumentando as exigências e a qualidade das argamassas.

Quadro 2.2 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (IPQ, 2010)

Propriedades	Categorias	Valores
Gama de resistências à compressão após 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥ 6 N/mm <sup>2</sup>
Absorção de água por capilaridade	W 0	não especificado
	W 1	CC ≤ 0,40 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )
	W 2	CC ≤ 0,20 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )
Condutibilidade térmica	T 1	≤ 0,1 W/(m.K)
	T 2	≤ 0,2 W/(m.K)

Relativamente a argamassas de revestimento a aplicar em edifícios antigos, existe um trabalho de referência (Veiga *et al.*, 2010), no qual são referidas gamas de valores indicativas, de acordo com a especificidade de aplicação da argamassa.

Quadro 2.3 – Requisitos gerais quanto a algumas características aos 90 dias das argamassas de revestimento para edifícios antigos (Veiga *et al.*, 2010)

Tipo de aplicação	Características mecânicas aos 90 dias			Comportamento face à água
	Rt [N/mm <sup>2</sup> ]	Rc [N/mm <sup>2</sup> ]	Ed [N/mm <sup>2</sup> ]	CC [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]
Reboco exterior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	<1,5; >1,0
Reboco interior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	-
Refechamento de juntas	0,4-0,8	0,6-3,0	3000-6000	<1,5; >1,0

Mas não é só através de gamas de valores que é possível serem feitas recomendações. No Quadro 2.4 estão patentes exigências funcionais (não quantitativas) que incidem sobre os tipos de aplicação do Quadro 2.3, complementando as recomendações, não só qualitativamente como equacionando outro tipo de aplicação.

No caso de argamassas utilizadas para rebocos exteriores, estas devem agregar as seguintes características (Veiga, 2003):

- Possuir a menor absorção capilar de água possível (quer em termos de coeficientes de capilaridade, quer em termos de valor assintótico).
- A água que inevitavelmente consegue penetrar na argamassa deve poder evaporar-se e para tal, a permeabilidade ao vapor de água é uma característica importante.
- Devem ter estabilidade dimensional, tanto numa fase inicial (retrações) como a longo prazo (variações dimensionais).

- Devem ter boa aderência ao suporte.
- Tanto quanto possível, as argamassas não devem libertar sais solúveis. No entanto, e devido aos sais que inevitavelmente existem em alvenarias, a resistência aos sais solúveis deve ser a maior possível.
- As resistências mecânicas devem conseguir suportar a acção anterior e outras, tais como acções de gelo/degelo e acções com origem em choques.
- As argamassas devem fazer presa num período de tempo curto, por forma a impedir deteriorações devido a resistências mecânicas iniciais fracas.

Quadro 2.4 – Exigências funcionais de diferentes aplicações de argamassas (Henriques e Faria, 2008)

Tipo de aplicação	Função	Exigências funcionais
<b>Rebocos exteriores</b>	Protecção contra a acção da água (liquida ou vapor)	Baixa absorção de água e elevada permeabilidade ao vapor de água
<b>Rebocos interiores</b>	Protecção contra acções mecânicas	Boa dureza superficial
<b>Refechamento de juntas</b>	Protecção contra a água e estabilidade estrutural	Baixa absorção de água, elevada permeabilidade ao vapor de água e expansibilidade

Há que ter em conta o factor decisivo que é a aplicabilidade, ou seja, a técnica de aplicação da argamassa. Esta questão leva à importante menção dos aspectos seguintes:

- A quantidade de água introduzida no processo de amassadura deve ser minimizada, o que conduz a uma argamassa mais consistente. Embora se torne mais difícil de aplicar, resulta num revestimento mais compacto, com maior capacidade resistente, menor tendência para fissurar e menor absorção de água.
- É preferível que a amassadura seja realizada manualmente ou com berbequim, evitando a betoneira.
- Por forma a garantir maior compacidade e menor susceptibilidade à fendilhação, é importante apertar a argamassa de cal aérea contra o suporte.
- Um maior número de camadas, de menor espessura unitária, diminui as tensões de retracção, e também a fissuração. Consegue-se também melhorar a capacidade de impermeabilização.
- Uma forte exposição solar facilita o endurecimento da argamassa mas também poderá aumentar a fissuração. Por outro lado, uma fraca exposição solar atrasa a carbonação e compromete o comportamento a longo prazo.

Em relação à realização de ensaios há igualmente aconselhamento quanto à orientação destes (Faria e Henriques, 2003), dividindo-os de acordo com duas perspectivas diferentes no que diz respeito às características necessárias, nomeadamente:

- Características que garantem a protecção da parede de aplicação:
  - absorção e evaporação de água;
  - resistências mecânicas;
  - libertação de sais solúveis;
  - estabilidade dimensional.
- Características que previnem a degradação das próprias argamassas:
  - resistência aos sais solúveis;
  - resistência ao gelo/degelo;
  - evaporação de água;
  - resistências mecânicas (incluindo tempo de presa).

## **2.6. Argamassas de cal aérea e metacaulino**

Neste subcapítulo são referidos trabalhos ou partes deles com interesse para esta dissertação, cujos resultados e/ou conclusões servirão para comparar/corroborar resultados obtidos neste mesmo estudo.

O estudo Fortes-Revilla (Fortes-Revilla *et al.*, 2006), em argamassas com base em cal aérea e areia com substituições de ligante por metacaulino, revela uma forte ligação entre o rácio CL/Mk e a resistência à flexão, entre o ambiente de cura e a resistência à compressão e entre esta e a idade de cura.

Em função dos ensaios executados, é importante reforçar os resultados com estudo de Černý (Černý *et al.*, 2006) em argamassas de cal aérea e metacaulino, sobre a influência que a quantidade de metacaulino tem nos valores de condutibilidade térmica. Este estudo procura ainda justificar a razão dessa mesma influência.

Outro estudo relativo a argamassas com base em cal e areia ao traço ponderal 1:3 e com substituição em massa de 20% de ligante por metacaulino (traço diferente mas substituição idêntica à verificada nesta dissertação), concluiu, que as argamassas com maior porosidade levavam a condutibilidades térmicas mais baixas (Vejmelková *et al.*, 2012).

O trabalho de Arizzi (Arizzi e Cultrone, 2012) consistiu na produção de argamassas com base em cal aérea e areia, com substituições 10% e 20% em massa de ligante por metacaulino, com diferentes traços. Os autores concluíram que há uma relação estrita entre a quantidade de metacaulino e a resistência à compressão e porosidade. Este estudo tenta estabelecer as proporções correctas de adições e misturas a serem utilizados neste tipo de argamassa quando se destinam a conservação de edifícios antigos.

O estudo desenvolvido por Branco (Branco, 2013) consistiu na produção de argamassas com base em cal aérea e areias partindo do traço 1:2, com substituições em massas de 30% e 50% em metacaulino por ligante. Forma moldados provetes prismáticos, colocados em cura húmida e ensaiados aos 28 e 90 dias. É muito importante referir a sua semelhança com esta dissertação, que também foi efectuada no âmbito dos projectos METACAL e LIMECONTECH, o que levou a que a mistura de areias seja a mesma, e embora o lote da cal tenha sido diferente, não deverá influenciar de modo relevante os resultados. Os resultados obtidos demonstraram que o aumento do teor em metacaulino tem um maior impacto sobre as características mecânicas do que o aumento do traço em ligante, o qual confere valores excessivamente elevados às argamassas para aplicação em rebo-cos. Os benefícios da introdução do metacaulino como ligante verificam-se igualmente na obtenção de valores mais baixos de coeficiente de capilaridade. Já nos restantes parâmetros o efeito do metacaulino revelou-se ambíguo.

Este trabalho foi complementado por André Bandeira (Bandeira, 2012), que caracterizou provetes das mesmas argamassas aos 180 dias. As conclusões obtidas foram uma genérica melhoria das características mecânicas nas argamassas de ambas as cals com metacaulino face às argamassas sem a pozolana. Na presença de metacaulino algumas das argamassas de cal aérea pioram o seu comportamento face à água (absorção capilar e secagem). Em relação à evolução com a idade observou, nas argamassas só de cal aérea, um crescimento progressivo das suas características mecânicas, provocado essencialmente pela evolução da reacção de carbonatação. No entanto, nas argamassas com metacaulino na sua constituição, ocorreu um decréscimo da sua resistência com a idade, fundamentalmente devido à dissipação de compostos instáveis que se formaram em idade jovem.

A investigação de Mergulhão (Mergulhão, em curso) incide sobre argamassas com base em cal aérea e areia (projecto METACAL), com substituições de 30% e 50% de metacaulino por massa de ligante, colocadas em cura standard e marítima.

O trabalho realizado por Jamú (Jamú, 2013) incide sobre argamassas com base em cal aérea e areia ao traço volumétrico 1:2, com diferentes percentagens de incorporação de terra argilosa como substituição parcial do ligante. Foram realizadas caracterizações às argamassas no estado fresco e no estado endurecido, após cura em condições standard com aspersão nos primeiros 4 dias de idade, em provetes correntes de argamassa e em aplicações sobre tijolo. A argamassa de cal aérea e areia e uma das argamassas com terra foram também aplicadas e ensaiadas num murete de taipa, exposto em ambiente natural. Os ensaios decorreram aos 90 dias de cura, sendo que em suporte de tijolo também foram ensaiados aos 28 dias.

O estudo desenvolvido por Lino (Lino, 2013) pretende contribuir para avaliar a influência do metacaulino nas argamassas de cal aérea. Para isso foram produzidas argamassas com base em cal aérea e areia ao traço 1:2, com 0% e 30% de substituição em massa de cal aérea por metacaulino. O autor concluiu, face aos resultados que registou, que o metacaulino, em substituição da massa

de cal, contribui para a melhoria das características mecânicas e de comportamento à água das argamassas de cal, tornando-as adequadas para a utilização como rebocos de edifícios antigos.

O estudo de Maravelaki-Kalaitzaki (Maravelaki-Kalaitzaki *et al.*, 2013) mostra que argamassas de cal aérea com elevado teor de metacaulino, apesar de exibirem valores mecânicos mais baixos aos 28 dias, apresentam valores mais elevados aos 180 dias e a um ano de cura húmida do que argamassas com a mesma quantidade de metacaulino e adição de outras pozolanas.



### **3. CAMPANHA EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Introdução**

A campanha experimental desenvolvida teve início logo na produção das argamassas com base em cal aérea, partindo do traço volumétrico 1:2, avaliando as suas características em estado fresco, seguindo-se a caracterização em estado endurecido que consistiu na execução de dois tipos de provetes de argamassa: prismáticos e em camada sobre tijolo. Foram ainda realizadas aplicações das argamassas, em sistemas de reboco constituídos por chapisco e por camada de base, em painéis sobre um murete de alvenaria de tijolo. A massa de ligante correspondente ao traço volumétrico definido foi mantida e parcialmente substituída por 10% e 20%, em massa, de metacaulino.

Os provetes, até atingirem as idades de ensaio de 28, 90 e 180 dias, foram sujeitos a três condições de cura distintas.

#### **3.2. Organização da campanha experimental**

Por uma questão de organização apresenta-se a fase experimental dividida em cinco etapas, que são abordadas individualmente. São estas etapas a caracterização dos constituintes das argamassas, os ensaios às argamassas em estado fresco, a caracterização dos suportes, os ensaios às argamassas em estado endurecido e as aplicações e avaliação visual do comportamento de rebocos sobre murete.

Toda a campanha experimental decorreu nos laboratórios da Secção de Construção e Hidráulica do DEC, FCT UNL e na Estação de Exposição Natural de Revestimentos, no Campus da Caparica.

##### **3.2.1. Caracterização dos constituintes**

Nas misturas efectuadas para fabrico das argamassas utilizaram-se três areias de granulometrias distintas, que foram caracterizadas individualmente e na mistura pretendida, das quais se falará mais à frente, cal aérea e metacaulino.

##### **3.2.2. Ensaios em estado fresco**

Estes ensaios realizaram-se entre as amassaduras e a execução de provetes.

Durante o fabrico das diferentes argamassas foram preparadas amostras para que fossem efectuados alguns ensaios. Todos os ensaios foram feitos para as três diferentes misturas.

Nos casos da consistência por espalhamento e massa volúmica, a argamassa após o ensaio foi reutilizada.

### 3.2.3. Caracterização dos suportes

Em determinados casos, as argamassas são aplicadas sobre um suporte, pelo que, no decorrer dos ensaios, estas não podem ser dissociadas dos mesmos. Para se ter noção da influência dos suportes nos resultados foi necessário caracterizá-los previamente.

### 3.2.4. Ensaios em estado endurecido

É nesta fase que o estudo é mais aprofundado e onde se concentra a maior parte do trabalho experimental. Os ensaios foram realizados aos 28, 90 e 180 dias.

### 3.2.5. Aplicações e avaliação visual do comportamento de rebocos sobre murete

Devido a múltiplas limitações estas aplicações já foram efectuadas muito perto do prazo limite de entrega desta dissertação, como tal, apenas foi possível avaliar visualmente as mesmas. Esta parte aborda essa temática.

O legado para o desenvolvimento de trabalhos futuros fica assim inquestionavelmente mais abrangente e garante o aprofundamento do estudo destas argamassas.

## 3.3. Materiais

Para o fabrico das argamassas, utilizou-se como ligante cal aérea hidratada em pó, como pozolana metacaulino e, como agregado, uma mistura de areias siliciosas.

É importante mencionar que todos os materiais envolvidos neste estudo foram mantidos no interior do laboratório, local onde as amassaduras tiveram lugar, dentro recipientes que garantiram a não-contaminação através de outros materiais e o controlo das variações de humidade.

### 3.3.1. Cal aérea

A cal aérea hidratada em pó foi o material com função de ligante nas argamassas produzidas. A cal aérea hidratada em pó utilizada usada foi a Lusical H100, disponibilizada pelo produtor (Fig. 3.1).

Esta mesma cal aérea havia sido analisada anteriormente (Gameiro *et al.*, 2012) e a sua composição revelada num artigo, no âmbito do projecto METACAL. A composição encontra-se, abaixo, no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Composição química da cal aérea (Gameiro *et al.*, 2012)

Material [%]	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	L.O.I.*
Cal aérea	-	0,01	0,15	0,01	3,09	76,74	-	0,02	0,04	0,01	20,45

\*Loss on ignition (perda ao fogo)

Verifica-se que os valores dos diferentes constituintes da composição química desta cal aérea estão de acordo com os valores de referência contidos na norma NP EN 459-1 (IPQ, 2011) classificando-a como CL90 (CL) e respeitando a norma.



Figura 3.1 – Cal aérea hidratada em pó Lusical H100

### 3.3.2. Metacaulino

Foi a pozolana artificial utilizada em substituição directa, em percentagem, de massa do ligante acima referido. O metacaulino escolhido - Argical M 1200S da IMERYS - é de origem francesa, onde é comercializado. O material foi cedido pelo produtor ao LNEC e deste à FCT-UNL. Não foi utilizado um produto de origem nacional uma vez que a produção em Portugal ainda não tem a sua composição perfeitamente estabilizada nos diferentes lotes, o que implica que, dentro dos parâmetros do projecto METACAL, não se considere estarem reunidas as condições para a aplicação neste estudo.

A ficha técnica do metacaulino utilizado (Fig. 3.2) encontra-se no Anexo II.



Figura 3.2 – Metacaulino Argical M 1200S

### 3.3.3. Agregado

A composição do agregado está previamente definida para as argamassas inseridas no projecto METACAL. A mistura é constituída por areias siliciosas lavadas e calibradas, com diferentes granulometrias. O traço volumétrico da mistura é, da granulometria mais grossa para a mais fina, 1:1,5:1,5 respectivamente de APAS12, APAS20 e APAS30.

As areias foram adquiridas directamente no produtor (Fig. 3.3).

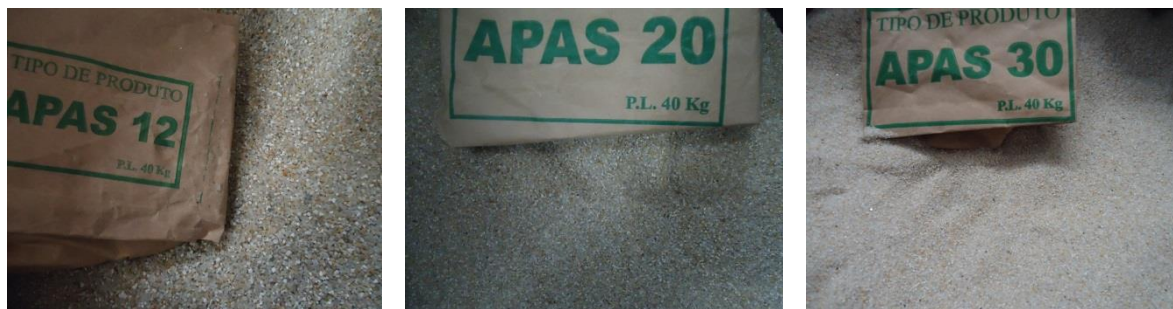


Figura 3.3 – Areias APAS 12, APAS 20 e APAS 30

### 3.3.4. Água

A água adicionada a cada uma das misturas foi proveniente da rede pública.

A quantidade de água introduzida no processo de amassadura de uma argamassa tem grande influência nas suas características físicas, trabalhabilidade e aplicabilidade, logo, essa mesma quantidade de água foi ponderada caso a caso, de modo a otimizar o comportamento em estado fresco, sem prejuízo do estado endurecido.

## 3.4. Caracterização dos constituintes das argamassas

### 3.4.1. Análise granulométrica das areias

A determinação da granulometria das areias baseou-se na norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000).

O ensaio foi realizado anteriormente (Massena, 2011) no âmbito dos projectos METACAL e LIMECONTECH, onde este trabalho se insere. Este ensaio consiste num processo de peneiração.

Recorre-se a uma série de peneiros com aberturas de malhas bem definidas e a um agitador mecânico de peneiros.

A realização deste ensaio permite conhecer as características relativas à dimensão dos grãos que compõem cada tipo de areia e da mistura composta pelos três tipos de areias. Uma vez conhecidas estas características, foi possível traçar as curvas granulométricas dos agregados. Isto permite conhecer a máxima dimensão do agregado (menor dimensão de malha de um peneiro por onde passa uma quantidade de material igual ou superior a 90%), a mínima dimensão do agregado (maior dimensão de malha de um peneiro por onde passa uma quantidade de material igual ou inferior a 5%) e o módulo de finura, obtido através da soma das percentagens totais retidas em cada peneiro da série, à excepção do peneiro com malha de 0,075 mm, dividida por 100.

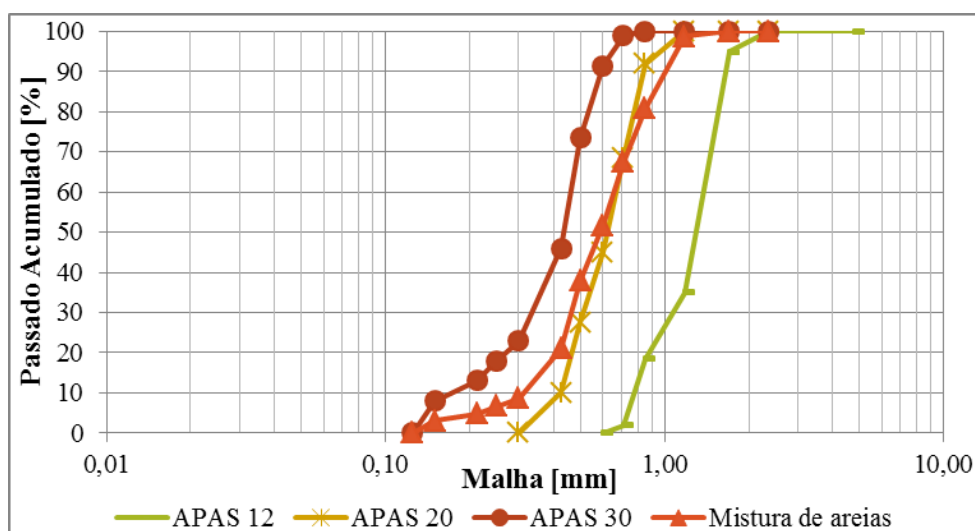


Figura 3.4 – Curva granulométrica das areias e da mistura de areias (Massena, 2011)

### 3.4.2. Baridade

É através da determinação da baridade de cada um dos constituintes secos das argamassas efectuadas que se obtém a massa de cada elemento a ser introduzido; uma vez que o previamente definido é o traço volumétrico, convertem-se os volumes em massas.

A baridade foi determinada tendo como base a norma NP EN 1097-3:2002 (IPQ, 2002), cujo princípio é preencher um dado recipiente, de volume conhecido, com um material, obtendo-se a massa seca. Em conjunto com o recipiente, foram utilizados uma placa de vidro, um funil e um suporte com altura variável para o mesmo.

O procedimento para a determinação da baridade tem início com o cálculo do volume do recipiente a utilizar. Começa-se por pesar o recipiente vazio e limpo,  $m_r$ . Enche-se o mesmo com água. Para que não se forme um menisco à superfície, é colocada uma placa a tapar o recipiente, com o cuidado de não haver bolhas de ar, que foi previamente pesada. Sabendo-se a temperatura da água,  $T_a$ , conhece-se também a sua massa volúmica (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Massa volúmica da água em função da temperatura

Temperatura da água, $T_a$ [°C]	$\rho$ [g/cm³]
10	0,9997
15	0,9991
23	0,9976

Retira-se o volume do recipiente segundo a equação:

$$V_r = \frac{[m_{ra} - (m_p + m_r)]}{\rho_a}$$

Equação 3.1

Onde,

$V_r$  [cm³]: volume do recipiente;

$m_r$  [g]: massa do recipiente;

$m_p$  [g]: massa da placa de vidro;

$m_{ra}$  [g]: massa do recipiente cheio de água tapado com a placa de vidro;

$\rho_a$  [g/cm<sup>3</sup>]: massa volúmica da água à temperatura  $T_a$  retirada do Quadro 3.2.

De seguida, é feito o preenchimento do recipiente com o material até transbordar, deixando-o cair, de uma altura normalizada de 73 mm, isto é, o bordo inferior do funil está a essa distância do topo do recipiente. Nivelase a superfície do recipiente, com o cuidado de não compactar o material no interior do recipiente, e pesa-se o recipiente cheio. O valor é obtido através da equação:

$$Ba = \frac{(m_{rc} - m_r)}{V_r}$$

Equação 3.2

Onde,

$Ba$  [g/cm<sup>3</sup>]: baridade;

$m_r$  [g]: massa do recipiente;

$m_{rc}$  [g]: massa do recipiente cheio com o agregado;

$V_r$  [cm<sup>3</sup>]: volume do recipiente.

Nas pesagens, a precisão da balança utilizada era de 0,1 gramas. O procedimento para a determinação da baridade é repetido três vezes, sendo a baridade usada para efeitos deste estudo a média dos valores.

### 3.5. Produção de argamassas

#### 3.5.1. Traços e quantidades

O traço volumétrico definido à partida foi 1:2. As substituições, para efeitos deste estudo, foram definidas em percentagens.

Foi necessário traduzir estas quantidades volumétricas para as respectivas quantidades em massa.

As substituições em percentagem foram aplicadas nas quantidades em massa. Para cada percentagem de metacaulino a adicionar foi determinada a respectiva quantidade de ligante substituído. As restantes quantidades mantiveram-se inalteradas.

As quantidades dos constituintes das diferentes misturas estão dispostos no Quadro 3.3 e os traços volumétrico e ponderal encontram-se no Quadro 3.4.

Para que a quantidade de argamassa produzida fosse suficiente para a realização de todos os ensaios às argamassas em estado fresco, produção de provetes prismáticos e em suporte de tijolo, foram efectuadas cinco amassaduras por mistura. Para a realização dos painéis de reboco sobre o murete de alvenaria de tijolo foram efectuadas duas argamassas de cada mistura com os mesmos traços volumétricos e ponderais: uma com mais 10% de água, para a execução do chapisco, e outra idêntica às feitas nas amassaduras, para a execução da camada de base.

Quadro 3.3 – Dosagens dos constituintes das argamassas

Argamassas	Massa [g]					Vol.água [ml]
	Ar 12	Ar 20	Ar 30	CL	Mk	
CL	1129,6	1686	1665,6	578,1	0,0	1000
CL_10Mk	1129,6	1686	1665,6	520,3	57,8	1000
CL_20Mk	1129,6	1686	1665,6	462,5	115,6	1000

Quadro 3.4 – Traços volumétricos e ponderais

Argamassas	Traço volumétrico		Traço ponderal	
	CL : Mk : Ag	L : Ag *	CL : Mk : Ag	L : Ag *
CL	1:0:2	1:2	1:0:7,75	1:7,75
CL_10Mk	1:0,14:2,22	1:1,96	1:0,11:8,61	1:7,75
CL_20Mk	1:0,31:2,50	1:1,91	1:0,25:9,69	1:7,75

\* L= CL+Mk

As designações atribuídas às argamassas indicam o tipo de ligante, a percentagem da substituição feita e o material da substituição. Deste modo, atribuíram-se as seguintes designações:

- CL – argamassa de cal aérea. É a argamassa tida como referência em relação aos resultados obtidos nas argamassas com substituição;
- CL\_10Mk – argamassa de cal aérea com substituição de 10% de metacaulino. É a argamassa com o valor intermédio de substituição;
- CL\_20Mk – argamassa de cal aérea com substituição de 20% de metacaulino. É a argamassa com o valor mais elevado de substituição.

### 3.5.2. Amassaduras

O processo de amassadura tem início com a pesagem dos constituintes, com uma balança de precisão 0,1 g. Após limpeza e taragem do tabuleiro são colocados os materiais, da granulometria mais grossa para a mais fina. Depois da mistura completa dos materiais secos, homogeneiza-se manualmente com recurso a uma pá, lentamente, evitando perdas. Passa-se o conteúdo do tabuleiro para a cuba da misturadora mecânica. À parte, numa proveta graduada, mediu-se a quantidade de água necessária para a amassadura (Fig. 3.5). O procedimento prosseguiu baseado na norma EN 1015-2 (CEN, 1998a), mas seguindo detalhadamente o estipulado no projecto METACAL (Faria, 2011). A misturadora mecânica é ligada na primeira de duas velocidades durante 150 segundos, sendo a água introduzida num período compreendido entre os 15 a 30 segundos iniciais. O processo é interrompido e para que o material acumulado nos bordos da cuba seja envolvido na mistura, com recurso a uma pá. Reinicia-se o processo de mistura com a duração de 30 segundos, concluindo a amassadura.



Figura 3.5 – Pesagem dos materiais, homogeneização manual, misturadora mecânica e início de amassadura

Repetiu-se o processo para cada uma das cinco amassaduras de cada mistura.

### 3.5.3. Ensaios às argamassas em estado fresco

#### 3.5.3.1 Consistência por espalhamento

A norma onde se baseia o ensaio é a EN 1015-3 (CEN, 1999b), tendo sido implementadas algumas alterações e seguindo rigorosamente os procedimentos definidos para o projecto METACAL (Faria, 2011).

É uma das propriedades mais usuais para avaliação das argamassas no estado fresco. Está consideravelmente associada à sua trabalhabilidade, característica esta difícil de quantificar, devido à ambiguidade do que é a facilidade de manuseamento e aplicação de uma argamassa.

Os equipamentos utilizados neste ensaio foram uma colher de pedreiro, mesa de espalhamento, molde troncocónico de espalhamento, pilão e craveira.

Antes de dar início ao ensaio, todo o material de laboratório é humedecido para que as condições sejam idênticas em todas as repetições executadas. O cone de espalhamento, que se encontra no centro da mesa, é preenchido com duas camadas. A primeira camada enche cerca de metade do cone e é compactada com vinte pancadas através do uso do pilão. Para a segunda camada repete-se o procedimento, sendo rasado o excesso, com o cuidado de não compactar o material que está no interior do cone. Retira-se o cone. Seguidamente submete-se a argamassa a quinze pancadas, através da rotação da manivela da mesa, à razão de uma pancada por segundo. Mede-se o diâmetro da argamassa espalhada, em dois eixos perpendiculares, recorrendo a uma craveira e a uma régua, fazendo-se a média das medições (Fig. 3.6). Foram feitas cinco amassaduras por argamassa, logo, um total de dez medições.





Figura 3.6 – Material, compactação com pilão e medição do espalhamento após as 15 pancadas

É importante que o ensaio seja sempre realizado pelo mesmo operador para que as condições se tornem aproximadas e os resultados sejam equiparáveis.

### 3.5.3.2 Massa volúmica

Este ensaio é feito de acordo com a norma EN 1015-6 (CEN, 1998b). Após estar verificado o ensaio de consistência por espalhamento, a argamassa é inserida num recipiente com volume de 1 dm<sup>3</sup> e massa previamente determinada. O enchimento do recipiente divide-se em duas camadas idênticas, devidamente compactadas, com quatro pancadas em quatro lados (frente, trás, esquerda, direita) provocadas por quedas. O recipiente é rasado (Fig. 3.7) e pesado, numa balança com 0,1 g de precisão. Através da diferença de massa do recipiente cheio e vazio, obtém-se a massa da argamassa. Dividindo a massa pelo volume retira-se a massa volúmica.



Figura 3.7 – Recipiente, de volume conhecido, cheio e rasado com argamassa para medição de massa volúmica

### 3.5.3.3 Teor em ar

A norma referente ao ensaio é a EN 1015-7 (CEN, 1998c). Utiliza-se o recipiente com argamassa usado na determinação da massa volúmica, para evitar desperdícios. Garantindo a inexistência de todo e qualquer material no bordo (zona de contacto entre os dois), coloca-se o equipamento sobre o recipiente fixando-o com os respectivos grampos. O equipamento possui um manómetro, uma válvula de entrada de água e outra de saída, um manípulo de bombagem para entrada de ar e aumento de pressão, uma válvula de precisão para controlo da pressão e uma alavanca de escape. Introduz-se água pela respectiva válvula até que o espaço entre o recipiente e o equipamento esteja preenchido, o que acontece quando a água sai pela outra extremidade. Fecha-se a válvula de saída e depois a de entrada. Faz-se aumentar a pressão até o manómetro ultrapassar o ponto que indica o zero, acertando com este mesmo ponto com o auxílio da válvula de precisão. Pressiona-se

a alavanca de escape e lê-se o manómetro quando estabilizado, que indica directamente o valor do teor em ar (Fig. 3.8).



Figura 3.8 – Equipamento de medição do teor em ar

#### 3.5.3.4 Retenção de água

A retenção de água de uma argamassa é uma característica fundamental, pois condiciona o desempenho dos constituintes que integram a argamassa e as condições de aplicação (Faria, 2004). Quando uma argamassa é aplicada, parte da água é evaporada ou absorvida pelo suporte. Assim, a capacidade de retenção de água de uma argamassa de revestimento é muito importante, pois influencia a sua durabilidade.

O presente ensaio teve por base a ficha de ensaio número FE 32 UNL/DEC e a norma EN 1015-8 (CEN, 1999c). Os resultados do ensaio são enunciados em percentagem de água retida na argamassa.

Utilizou-se um molde metálico cilíndrico com 100 mm de diâmetro e 25 mm de altura, a mesa de espalhamento, um peso com 2 kg, uma placa de vidro, gaze de algodão, papéis de filtro circulares e uma régua metálica.

Em primeiro lugar, determina-se a massa do molde vazio e de 8 folhas de papel de filtro. De seguida enche-se o molde com argamassa, são dadas quatro pancadas com recurso à mesa de espalhamento, rasa-se e determina-se a massa do molde com argamassa. Cobre-se a superfície da argamassa com a gaze, depois são inseridos os oito papéis de filtro e sobre estes coloca-se a placa de vidro. O conjunto é invertido numa superfície plana. Seguidamente põe-se o peso em cima do molde e tem início a contagem do tempo (Fig. 3.9). Ao fim de cinco minutos retira-se o peso, o molde volta à posição inicial e determina-se a massa dos oito papéis de filtro em conjunto.

Para se conhecer a percentagem de água retida é necessário aplicar duas fórmulas. Através da primeira, retira-se a massa de água da argamassa no interior do molde:

$$m_a = \frac{m_{at} \times (m_{mc} - m_m)}{\sum_{i=1}^n m_{ci} + m_{mc}}$$

Equação 3.3

Onde,

$m_a$  [g]: massa de água utilizada na argamassa colocada no molde;

$m_{at}$  [g]: massa de água utilizada na amassadura;

$m_{mc}$  [g]: massa do molde com a argamassa;

$m_m$  [g]: massa do molde;

$m_{ci}$  [g]: massa de cada um dos outros constituintes da argamassa.

Pela segunda fórmula conhece-se a percentagem de água retida:

$$R = \frac{m_a - (m_{fh} - m_f)}{m_a} \times 100$$

Equação 3.4

Onde,

$R$  [%]: percentagem de água retida;

$m_a$  [g]: massa de água utilizada na argamassa colocada no molde;

$m_{fh}$  [g]: massa dos papéis de filtro húmidos;

$m_f$  [g]: massa dos papéis de filtro secos.

É importante que a fase inicial do ensaio, quando se efectua o enchimento do recipiente cilíndrico e são infligidas as pancadas, seja sempre realizada pelo mesmo operador para que os resultados das pesagens sejam equiparáveis, por terem as mesmas condições.



Figura 3.9 – Rasamento do molde antes das 4 pancadas, colocação da gaze e dos filtros e conjunto invertido sobre a placa de vidro

### 3.6. Produção de provetes

Após a caracterização no estado fresco dá-se então início à produção de provetes.

#### 3.6.1. Execução de provetes prismáticos

Insere-se a argamassa em moldes metálicos de dimensões 40x40x160 [mm<sup>3</sup>], previamente limpos, montados e pincelados com uma fina camada de óleo descofrante em todas as faces em contacto com a argamassa.

A introdução da argamassa nos moldes é feita em duas camadas idênticas, ambas compactadas com vinte pancadas por via de um compactador mecânico, à razão de uma pancada por segundo. Os moldes são rasados e, consequentemente, a superfície livre dos provetes alisada (Fig. 3.10). Os mesmos são inseridos em sacos de polietileno durante sete dias, após os quais são des-

moldados. Depois desse período, nove provetes de cada mistura são colocados na cura designada, excepto no caso da cura marítima onde vão adicionalmente mais três provetes suplentes, caso haja algum danificado. Fizeram-se um total de 90 provetes prismáticos.



Figura 3.10 – Compactação mecânica e molde rasado

Para poderem ser associados aos ensaios, os provetes são identificados de acordo com quem os efectuou (DV), com a mistura a que pertencem (1, 2 e 3), com as condições de cura onde estão inseridos (S, H ou M) e com um número de um a nove em cada cura, para que todos se pudessem distinguir individualmente.

Quadro 3.5 – Quadro síntese da organização dos provetes prismáticos

Data a ensaiar	CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
28 dias	DV1M1	DV1H1	DV1S1	DV2M1	DV2H1	DV2S1	DV3M1	DV3H1	DV3S1
	DV1M2	DV1H2	DV1S2	DV2M2	DV2H2	DV2S2	DV3M2	DV3H2	DV3S2
	DV1M3	DV1H3	DV1S3	DV2M3	DV2H3	DV2S3	DV3M3	DV3H3	DV3S3
90 dias	DV1M4	DV1H4	DV1S4	DV2M4	DV2H4	DV2S4	DV3M4	DV3H4	DV3S4
	DV1M5	DV1H5	DV1S5	DV2M5	DV2H5	DV2S5	DV3M5	DV3H5	DV3S5
	DV1M6	DV1H6	DV1S6	DV2M6	DV2H6	DV2S6	DV3M6	DV3H6	DV3S6
180 dias	DV1M7	DV1H7	DV1S7	DV2M7	DV2H7	DV2S7	DV3M7	DV3H7	DV3S7
	DV1M8	DV1H8	DV1S8	DV2M8	DV2H8	DV2S8	DV3M8	DV3H8	DV3S8
	DV1M9	DV1H9	DV1S9	DV2M9	DV2H9	DV2S9	DV3M9	DV3H9	DV3S9

Os 3 provetes suplentes de cada mistura, que se encontram em condições de cura marítima por se entender que seria nessas condições que existiria mais propensão a danificarem-se, permanecem no local para ensaios futuros, pois sucedeu que nenhum provete teve de ser substituído.

Quadro 3.6 – Quadro de organização dos provetes prismáticos suplentes

Por ensaiar	CL (m)	CL_10Mk (m)	CL_20Mk (m)
Suplentes	DV1M1S	DV2M1S	DV3M1S
	DV1M2S	DV2M2S	DV3M2S
	DV1M3S	DV2M3S	DV3M3S

### 3.7. Execução de provetes em suporte de tijolo

Para que se pudesse testar a aplicação da argamassa em alvenaria de tijolo, realizado através de aspersão com água de toda a superfície, esta foi colocada, com uma espessura de 1,5 cm, sobre um tijolo com dimensões de 20x30x7 [cm<sup>3</sup>].

Após o humedecimento da superfície do tijolo, para limitar a absorção de água por parte do suporte, procede-se à colocação da argamassa.

Por forma a padronizar a execução deste tipo de provete, foi utilizado um molde em madeira, com dimensões superiores às do tijolo e que lhe confere um recobrimento homogéneo e um afastador, feito do mesmo material e na continuação do molde, amovível, que pretende simular a projecção do material em obra.

O tijolo é centrado no molde e o afastador encaixado sobre este. Efectuam-se três aspersões de água sobre o tijolo. A argamassa, com o auxílio de uma colher de pedreiro, é largada do topo do afastador, tendo como objectivo o recobrimento total do suporte (Fig. 3.12). Retira-se o afastador e rasa-se o molde, sendo que este tem uma altura tal que a camada de argamassa dobre o tijolo fica com espessura definida de 1,5 cm (Fig. 3.11).



Figura 3.11 – Espessura de argamassa de 1,5 cm de provetes em suporte de tijolo

Após alguns minutos o molde é extraído com precaução para não afectar a argamassa em contacto com o tijolo. A argamassa fora da área do suporte é cortada.

Todos os provetes são introduzidos em sacos de polietileno durante sete dias. Findo esse período, um provete de cada mistura é colocado na cura designada, excepto no caso da cura marítima onde vai adicionalmente mais um provete suplente, caso haja algum danificado. Fizeram-se um total de 12 provetes em suporte de tijolo.



Figura 3.12 – Tijolo centrado no molde e sistema com o afastador encaixado



Para poderem ser associados aos ensaios, os provetes são identificados de acordo com quem os efectuou (DV), com a mistura a que pertencem (1, 2 e 3), com as condições de cura onde estão inseridos (S, H ou M) e com o número 1 ou 2 no caso da cura marítima, para que todos se pudessem distinguir individualmente.

Quadro 3.7 – Quadro síntese da organização dos provetes em suporte de tijolo

Data a ensaiar	CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
28, 90 e 180 dias	DV1M1	DV1H	DV1S	DV2M1	DV2H	DV2S	DV3M1	DV3H	DV3S
	DV1M2			DV2M2			DV3M2		

Os provetes suplentes (DV1M1, DV2M2 e DV3M2), neste caso em suporte de tijolo, foram geridos de modo diferente dos prismáticos, ou seja, foram utilizados aos 90 dias devido aos danos causados por arrancamento nos ensaios de absorção de água sob baixa pressão, sendo que aos 180 dias se escolheram aqueles que se apresentavam em melhor estado.

### 3.8. Execução de reboco sobre murete de tijolo

#### 3.8.1. Introdução

Previamente à execução dos rebocos foi necessário construir o parque de muretes da Estação de Exposição Natural de Revestimentos da FCT UNL, cujo objectivo foi caracterizar o comportamento das argamassas sob a forma de reboco, em exposição natural.

Esta estação nasce da importância de avaliar a evolução das argamassas quando sujeitas a exposição ambiental natural, a uma escala semelhante à verificada em aplicação real de revestimentos.

Esta execução foi feita no âmbito dos projectos financiados pela FCT, METACAL e LI-MECONTECH.

Para o efeito foram executados muretes de alvenaria, constituídos por um pano de tijolo de 22 cm, ao cutelo, por forma a recriar uma alvenaria corrente com 20 cm de espessura, onde foram aplicados directamente as diferentes misturas de argamassas, que se encontram implementados a poente do edifício IX da FCT-UNL.

A execução desta EENR decorreu em paralelo com a execução das dissertações do signatário, mas ainda de Valério (Valério, 2013) e de Madeira (Madeira, 2013) e contou ainda com apoio de outros estudantes, tendo todos os trabalhos *in situ* sido coordenados pelo Eng. Vítor Silva, bolseiro da Secção de Construção e Hidráulica da FCT UNL.

#### 3.8.2. Planeamento

Antes da implementação da Estação de Exposição Natural de Revestimentos efectuou-se o levantamento topográfico com o auxílio do programa Autocad, onde se colocou a disposição dos muretes (Figura 3.13).

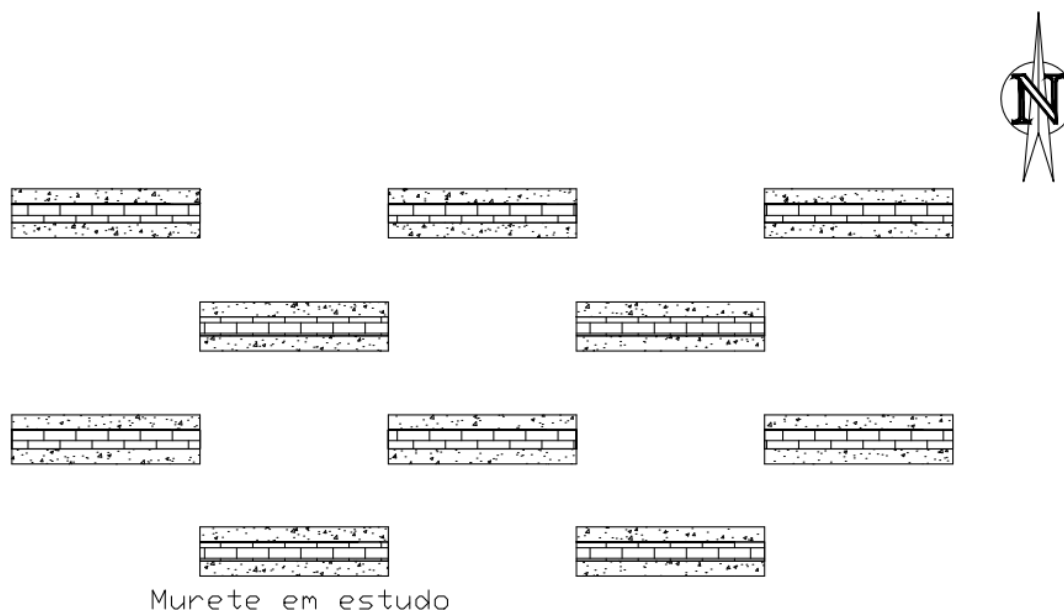


Figura 3.13 – Planta de implementação dos muretes

Essa disposição foi efectuada por forma a garantir, quer a optimização do espaço, quer que as distâncias de sombreamento não influenciavam a exposição solar de alguns dos muretes.

Foi definido à partida que as dimensões dos muretes seriam de 2,5 m de comprimento por 2 m de altura, assentes directamente sobre bases de betão com 2,5 m por 0,5 m e altura de 25 cm, evitando assim o contacto entre a alvenaria e o terreno para que se impedisse a ascensão capilar da água, entre outras contaminações.

Os muretes foram dispostos ao longo do eixo Este-Oeste para que as faces de aplicação se encontrassem orientadas a norte e a sul. Esta orientação serve para se compreender a diferença entre a exposição à radiação solar máxima (Sul) e mínima (Norte).

A arrumação escolhida teve por base estas idiossincrasias.

### 3.8.3. Execução do parque de muretes

O processo construtivo teve início com a desmatção e nivelamento do terreno. Seguiu-se a marcação do cangalho com recurso a uma bússola, fio-de-prumo e fita métrica, de forma a garantir o alinhamento e afastamento das mesmas.

Foram concebidas cofragens tradicionais para betonagem das bases, colocadas no local previamente marcado e compactado o solo abaixo e ao redor da cofragem (Fig. 3.14).

Com recurso a uma betoneira de tremonha foi fabricado, no local, betão para as bases ao traço volumétrico de 1:4:3, respectivamente de cimento, areia e brita correntes (Fig. 3.15). A recolha e colocação do betão nas sapatas foram feitas por meio de carrinho de mão, sendo depois “vibrado” e rasado manualmente, recorrendo a uma enxada e varão de aço e a uma régua de madeira, respectivamente.



Figura 3.14 – Cofragem colocada e solo compactado



Figura 3.15 – Transporte, vibração manual e rasagem do betão

Ao fim de 48 horas foram retiradas as cofragens das bases e iniciou-se a execução das alvenarias.

Para o assentar de tijolo foi fabricada no local, na betoneira referida, uma argamassa ao traço volumétrico de 1:4 de cimento e areia corrente, aplicada através de uma colher de pedreiro (Fig. 3.16).



Figura 3.16 – Alinhamento dos muretes ao longo da colocação de fiadas de tijolo

Os tijolos foram obviamente aplicados com juntas verticais desfasadas.

No topo dos muretes colocou-se um capeamento de telhas tipo marselha, conferindo uma protecção superior dos topos (Fig. 3.17).





Figura 3.17 – Pormenor do capeamento de telhas tipo marselha

#### 3.8.4. Execução dos rebocos

Os muretes foram divididos em quatro painéis, para colocação de diferentes argamassas, através de guias de madeira com 2 cm de espessura, sendo estas pregadas às juntas.

A aplicação de argamassas foi feita em ambas as faces dos muretes com o uso de uma colher de pedreiro e auxílio de uma talocha.

As misturas foram feitas *in situ* por meio de um berbequim.

A primeira fase consistiu na produção e aplicação de uma argamassa de chapisco (Fig. 3.18), para conferir mais aderência à camada de base, que continha mais 10% de água do que nas amassaduras por ser constituído por argamassa mais fluida. Quer isto dizer que, em relação ao Quadro 3.3, apenas a quantidade de água passou para 1100 ml.



Figura 3.18 – Aplicação do chapisco

A segunda fase foi constituída em primeiro lugar pela produção e aplicação da argamassa da camada de base. Esta camada foi executada com a mesma quantidade de água utilizada na produção dos provetes estudados (Quadro 3.3), aplicada por compressão com a colher de pedreiro e sarrafeamento com uma régua de madeira, apoiada nas guias e em movimento ascendente ou descendente, e com talocha, em movimentos circulares (Fig. 3.19).



Figura 3.19 – Aplicação da camada de base

A disposição das argamassas ficou conforme o esquema dos alçados representados na Figura 3.20.

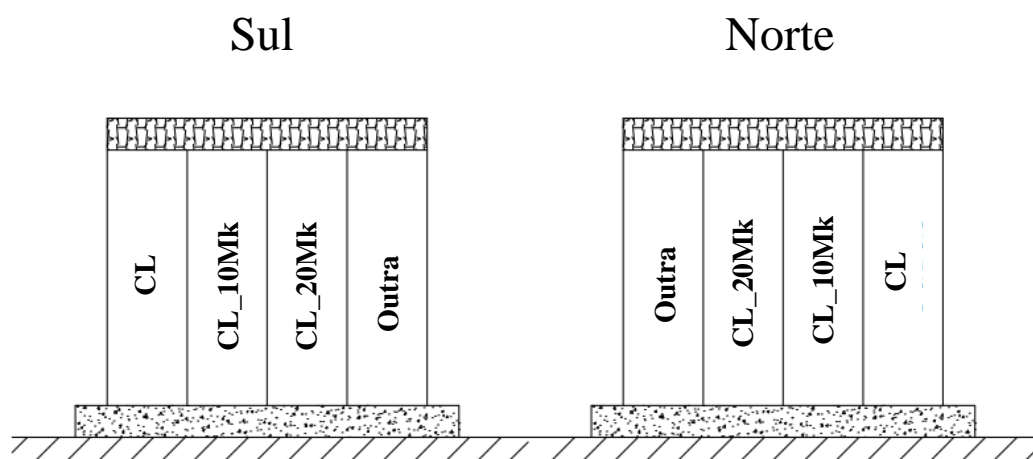


Figura 3.20 – Alçados Sul e Norte com as respectivas disposições das argamassas

A realização dos rebocos decorreu nos dias 12 e 13 de Novembro de 2013. Devido às condições meteorológicas durante a aplicação da camada de base, foi colocado um tapume sobre os rebocos, para que a radiação solar intensa não provocasse uma secagem repentina que pudesse levar à ocorrência de fenómenos de fissuração ou fendilhação.

Esta aplicação difere dos provetes em suporte de tijolo na medida em que, não só é feita a uma escala de aplicação real, como é um reboco, como tal constituído por duas camadas, aplicadas a um paramento vertical, ao invés da camada única de argamassa largada a uma altura standard.

A trabalhabilidade das argamassas e a aplicabilidade dos rebocos foi avaliada no estado fresco.

### 3.9. Condições de cura

Com o intuito de se estudar a variação de comportamento das misturas efectuadas para distintas exposições ambientais, designaram-se três condições de cura cujas diferenças passam pelas condições de humidade relativa, temperatura e exposição natural junto ao mar. Estas condições foram impostas desde os sete dias até um dia antes da idade a que foram ensaiados, data em que

foram colocados em condições de cura standard, a fim de uniformizar a humidade relativa do material.

Os rebocos foram efectuados em murete em exposição natural a Sul e a Norte, localizado na Estação de Ensaio de Revestimentos no Campus da FCT UNL.

A velocidade de carbonatação depende, entre outros factores, do teor em cal, da temperatura, da concentração em dióxido de carbono e da humidade relativa (Faria, 2004), sendo que a condição de cura influencia os parâmetros referidos, com excepção do primeiro.

### 3.9.1. Cura standard (S)

É a cura considerada como referência. Impõem-se, mecanicamente, condições controladas de temperatura e humidade relativa de  $20 \pm 2$  °C e  $65 \pm 5\%$ , condições estas fornecidas pela sala de ambiente controlado do DEC-FCT/UNL (Fig. 3.21).

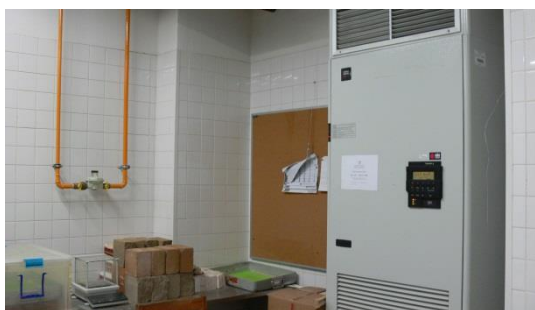


Figura 3.21 – Sala de cura standard

Estas condições de cura deram origem às argamassas:

- CL (s) – argamassa de cal aérea, em condições de cura standard;
- CL\_10Mk (s) – argamassa de cal aérea com substituição de 10% de metacaulino, em condições de cura standard;
- CL\_20Mk (s) – argamassa de cal aérea com substituição de 20% de metacaulino, em condições de cura standard.

### 3.9.2. Cura húmida (H)

A cura é realizada numa sala de cura húmida do DEC-FCT/UNL. Simula condições de humidade relativa muito elevada. As condições de humidade relativa e temperatura de  $95 \pm 5\%$  e  $21 \pm 2$  °C são monitorizadas. Atinge-se esta percentagem através de uma cuba com água sobre a qual existem grelhas que suportam os provetes, grelhas essas cobertas com filme plástico de polietileno (Fig. 3.22).

O registo dos parâmetros condicionantes desta cura, devido a problemas técnicos, não foi efectuado durante toda a permanência dos provetes nesta exposição. Ainda assim, os valores registados são suficientes para se afirmar que as condições foram constantes ao longo do tempo. Todo o registo efectivado encontra-se no Anexo III.



Figura 3.22 – Sala de cura húmida

Estas condições de cura deram origem às argamassas:

- CL (h) – argamassa de cal aérea, em condições de cura húmida;
- CL\_10Mk (h) – argamassa de cal aérea com substituição de 10% de metacaulino, em condições de cura húmida;
- CL\_20Mk (h) – argamassa de cal aérea com substituição de 20% de metacaulino, em condições de cura húmida.

### 3.9.3. Cura marítima (M)

É feita em exposição natural na Estação de Exposição Natural do LNEC localizada no Cabo Raso, em Cascais. As condições são variáveis, num ambiente fortemente marítimo, mas frequente em Portugal e noutros países, que se encontra a cerca de vinte e cinco metros do mar, o que implica aspersão natural de água com elevada concentração de cloretos e contacto com nevoeiro salino. Para protecção do topo superior dos provetes em relação à pluviosidade, visto que as argamassas se encontravam jovens na data em que foram colocados, puseram-se ladrilhos cerâmicos com 5x5 [cm<sup>2</sup>] sobre o topo exposto. Em redor foram colocados prismas de madeira (provetes falsos) para que a exposição fosse semelhante em todos os provetes.

Os dados meteorológicos referentes a esta cura foram pedidos ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, 2013).



Figura 3.23 – Local da cura marítima

Estas condições de cura deram origem às argamassas:

- CL (m) – argamassa de cal aérea, em condições de cura marítima;
- CL\_10Mk (m) – argamassa de cal aérea com substituição de 10% de metacaulino, em condições de cura marítima;

- CL\_20Mk (m) – argamassa de cal aérea com substituição de 20% de metacaulino, em condições de cura marítima.

### **3.9.4. Cura em exposição natural na FCT-UNL**

Para além das curas anteriores, onde foram condicionados os provetes prismáticos e sobre tijolo, os rebocos de argamassa foram aplicados sob cura feita em exposição natural na Estação de Exposição Natural de Revestimentos da FCT-UNL, a partir de 13 de Novembro de 2013, data em que se conseguiram reunir todas as condições necessárias para a execução dos rebocos.

Embora o murete seja constituído por uma alvenaria de tijolo furado de 11 cm e por argamassa de assentamento constituída por cimento e areia ao traço volumétrico 1:4, admite-se que as características do tijolo furado isolado não se afastam muito das do murete.

## **3.10. Ensaio de caracterização do suporte – Tijolo furado**

Estes ensaios servem para dar a conhecer se a influência, inerente a toda e qualquer aplicação de argamassas num material diferente, é significativa para os ensaios realizados.

Este tipo de tijolo foi o escolhido por ser de uso corrente na construção em Portugal. É um produto cerâmico avermelhado, que deve a sua coloração ao seu processo de cozedura e à sua constituição por materiais argilosos.

### **3.10.1. Condutibilidade térmica aproximada do tijolo furado**

É uma característica própria de cada material que traduz a forma como uma camada do material se deixa atravessar pelo calor, podendo ser definida como a quantidade de calor que atravessa a unidade de espessura do material, por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura (Henriques, 2007).

O aparelho utilizado para a medição desta deste parâmetro foi o ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser), utilizando uma sonda de superfície API 210412, sendo o procedimento de ensaio baseado no manual do equipamento. Este não é um ensaio preciso. Não só a área da sonda não ficava totalmente em contacto com o tijolo devido às ranhuras deste mas esta propriedade é geralmente calculada em materiais de espessura homogénea e superior. O próprio equipamento utilizado no ensaio preconiza uma espessura mínima de 2 cm e o septo tem apenas 7,5 mm. No entanto, este ensaio foi realizado determinando assim a condutibilidade térmica aproximada do material cerâmico constituinte do tijolo.

Coloca-se a sonda em contacto com o tijolo, selecciona-se a opção Thermal Conductivity (botão F2) dando início ao ensaio. As medições realizadas pelo aparelho são baseadas na análise da resposta térmica do material relativamente aos impulsos de fluxo térmico. Este fluxo térmico é emitido por aquecimento eléctrico de uma resistência inserida no sensor que está em contacto com o tijolo em análise (Applied Precision, s/d). O tijolo foi colocado sobre uma placa de XPS, em toda a duração do ensaio.

Quadro 3.8 – Caracterização do tijolo furado (Dias, 2013 - Jamú, 2013)

Suporte	$\lambda$ [W/(m.K)]	
	Méd.	D. P.
<b>Tijolo furado</b>	0,596	0,083

O valor obtido encontra-se dentro dos valores tabelados no ITE 50 do LNEC (Pina dos Santos e Matias, 2006) que estão na gama dos 0,34 a 1,04 [W/(m.K)] , para material cerâmico.

Apesar de este ensaio ter sido realizado por outro operador (Dias, 2013 - Jamú, 2013), foi visionado pelo autor e efectuado nas mesmas condições que os restantes ensaios de condutibilidade térmica do corrente estudo.

### 3.10.2. Absorção de água sob baixa pressão do tijolo furado

A realização deste ensaio tem por base a ficha de ensaio Fe Pa 39 do LNEC e o Test nº II.4 da RILEM (RILEM, 1980b).

Este ensaio é efectuado recorrendo a tubos de Karsten. O material utilizado para aderir os tubos à argamassa foi a plasticina. Foi ainda necessário um cronómetro, um esguicho e um pano.

Começa-se por fazer círculos de plasticina com perímetro semelhante ao círculo exterior dos tubos. Pretende-se que tenham uma área de contacto aceitável sem, no entanto, reduzir o diâmetro dos tubos de Karsten pois alteraria a área de absorção e anularia a validade do ensaio. Com a plasticina em contacto com o tubo, pressiona-se este contra o tijolo de modo a que se verifique a colagem.

Após estarem colados os três tubos no tijolo, coloca-se o este sobre o pano (para o caso de algum tubo de Karsten cair e não se danificar) e enche-se o primeiro tubo até aos 0 ml e inicia-se a contagem do tempo. Ao fim de um minuto enche-se o segundo tubo e ao fim de dois minutos, o terceiro. Deste modo o primeiro e o segundo tubo encontram-se desfasados do primeiro, respectivamente, em um e dois minutos. Sempre que a água no tubo desça aos 4 ml volta-se a encher o mesmo com o esguicho, assinalando o tempo. As medições da quantidade de água nos tubos realizaram-se aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos, altura em que se deu por concluído o ensaio.

Com os dados recolhidos, pode avaliar-se a capacidade de absorção do tijolo sob dois pontos de vista: tempo necessário para absorver 4 ml de água e quantidade de água absorvida por unidade de tempo. Determina-se, então, o coeficiente de absorção de água, que reflecte a massa de água absorvida numa determinada área, por um período determinado de tempo:

$$C_{abs} = \frac{V_a \times 10^{-3}}{D^2 \times (\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \sqrt{t})}$$

Equação 3.5

Onde,

$C_{abs}$  [kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)]: coeficiente de absorção;

$V_a$  [ml]: volume de água absorvida;

$D$  [mm]: diâmetro do tubo;

$t$  [min]: tempo de absorção.

Este coeficiente aplicou-se, neste caso, para a duração total do ensaio,  $C_{abs,T}$ , em que  $V_a$  é o volume de água absorvida durante todo o ensaio ( $t=60$  min).

### 3.11. Ensaaios às argamassas em estado endurecido

Os rebocos aplicados no murete de alvenaria de tijolo foram apenas avaliados visualmente, devido à etapa tardia deste trabalho em que puderam ser executados. No entanto vão possibilitar uma caracterização ao longo do tempo.

Todos os restantes provetes provenientes de outras curas são colocados na sala de cura standard vinte e quatro horas antes do início dos ensaios, com o intuito de uniformizar a humidade presente nas argamassas.

Como forma de rentabilizar os recursos disponíveis, os ensaios seguem uma ordem lógica, com o objectivo de nenhum dos ensaios anteriores afectar os resultados do ensaio actual.

Todos os ensaios destrutivos são referidos na sua descrição. Caso não se faça referência a esse facto, o ensaio é considerado não-destrutivo.

#### 3.11.1. Ensaaios em provetes em suporte de tijolo

##### 3.11.1.1 Organização dos ensaios

Os ensaios descritos seguidamente tiveram lugar pela ordem referida pelos pontos.

É de assinalar uma variação cromática detectada aos 90 dias nos provetes com metacaulino, colocados em cura marítima. Pode-se observar que a argamassa de referência não sofre qualquer alteração, ao passo que as outras argamassas adquirem uma cor ocre, sendo esta mais homogénea no caso de CL\_20Mk (Fig. 3.24). Através da apreciação do cenário e consulta bibliográfica averiguou-se que uma forte possibilidade estava relacionada com contaminação, por meio da água advinda de pluviosidade, com oxidações verificadas nos elementos metálicos circundantes, que se depositaram à superfície, conferindo às argamassas a coloração alaranjada (Flores-Colen *et al.*, 2008).



Figura 3.24 – Apresentação cromática das argamassas CL, CL\_10Mk e CL\_20Mk aos 90 dias de cura marítima



### 3.11.1.2 Dureza superficial

O material utilizado foi um durómetro Shore-A (Figura 3.25), segundo a norma ASTM D2240 (ASTM Standards, 2000).

O ensaio consiste somente na aplicação deste equipamento, que por sua vez mede a resistência à penetração de um pino pressionado contra, neste caso, a argamassa. A natureza simples do ensaio permite a realização de múltiplas medições num curto espaço de tempo; logo, para que o valor retirado do ensaio seja significativo, tendo em conta a disparidade entre os valores, efectuaram-se dez medições em cada provete. Essas medições foram retiradas de dez pontos distintos e aleatórios, dentro do bom senso da verificação do estado da argamassa no ponto escolhido. O resultado do ensaio é dado pela média das medições.



Figura 3.25 – Medição de dureza superficial com durómetro

### 3.11.1.3 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica de uma argamassa é importante pois se a argamassa em estudo for aplicada no reboco de um edifício, contribuirá para o conforto térmico no interior, de uma forma maior ou menor conforme a sua espessura seja superior ou inferior. . Embora não se trate de uma característica importante em aplicações de pequena espessura com este tipo de argamassas, efectuou-se o ensaio para contribuir com dados para base de dados em curso.

As especificidades do ensaio, bem como o aparelho e o tipo de sonda utilizados, já foram referidos no ponto 3.10.1 (Fig. 3.26).

Como forma de garantir a homogeneidade de condições de realização do ensaio, os prove-tes foram sempre colocados sobre uma placa de XPS e feitos na mesma sala.

O ensaio foi efectuado em seis pontos distintos em quincêncio.

Este foi o único caso em que a área da sonda ficava uniformemente em contacto com o provete, levando a que o resultado obtido seja o mais perto da realidade de entre as diferentes oca-siões onde se aplicou este ensaio.





Figura 3.26 – Ensaio de condutibilidade térmica em provete em suporte de tijolo

#### 3.11.1.4 Compacidade das argamassas recorrendo aos ultra-sons

De modo a verificar o estado de compacidade da argamassa recorreu-se a ensaios de ultra-sons seguindo os procedimentos descritos na ficha de ensaio do LNEC FE Pa 43 (LNEC, 2010). Os ultra-sons são uma ferramenta muito utilizada na caracterização de materiais devido à relação teórica existente entre os parâmetros e grandezas da propagação de ondas ultra-sónicas e as propriedades elásticas daqueles materiais. Em particular neste estudo é utilizada a análise da velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas para uma análise qualitativa e comparativa da compacidade da argamassa. Quanto maior porosidade tiver um certo material, menor será a velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas. O equipamento de ultra-sons utilizado nos ensaios foi o Pundit Lab da marca Proceq, com transdutores semi-esponenciais de 54 kHz. Este aparelho gera ondas ultra-sónicas através de um transdutor-emissor e capta-as com um transdutor-receptor indicando o tempo de propagação da onda ultra-sónica entre os transdutores. De maneira a melhorar o contacto dos transdutores (emissor e receptor) com o provete foi aplicado um gel, feito à base de água, entre as superfícies dos transdutores e a superfície do provete. Este gel ajuda a minimizar os vazios existentes entre os transdutores e a superfície do provete, permitindo, assim, melhorar a transmissão das ondas.

Para todos os ensaios foi criado um molde, numa folha de papel, onde foram desenhados seis pontos, numa mesma linha, espaçados de 10 cm. Estes pontos foram designados de “A” a “F” (Figura 3.27a). O transdutor-emissor é colocado no ponto “A” e o transdutor-receptor é colocado no ponto “B” onde se registam três leituras do tempo de propagação. O ensaio é repetido fazendo variar o transdutor-receptor nos restantes pontos “C”, “D”, “E” e “F” (Figura 3.27). Depois, mantendo o transdutor-receptor no ponto “F”, faz-se variar o transdutor-emissor pelos pontos “A”, “B”, “C”, “D” e “E” registando também três medições por cada ponto.



Figura 3.27 – Marcação dos espaçamentos de 10 cm, colocação dos transdutores nos pontos A e F e leitura dos tempos

Após a obtenção os tempos de propagação calcula-se a velocidade de propagação aparente dividindo a distância entre os pontos e a média do tempo de propagação registado.

### 3.11.1.5 Absorção de água sob baixa pressão

Este ensaio foi descrito em 3.10.2 (Fig. 3.28). O material utilizado para aderir os tubos à argamassa foi a plasticina de marca Morocolor Itália e modelo Primo, que importa referir porque posteriormente à realização do primeiro ensaio aos 28 dias, verificou-se, especialmente nas argamassas mais friáveis, que havia arrancamento de algum material, e daí, mantendo todas as condições, poderia advir um novo ensaio: de resistência superficial.

No caso deste ensaio, agora aplicado aos provetes em suporte de tijolo, ao fazer círculos de plasticina e a pressionarem-se estes contra a argamassa para se garantir a colagem, verificou-se em alguns casos que a aderência não era a melhor, o que levou a que fosse necessário reforçar o processo anterior com mais plasticina. Esta dificuldade deveu-se à friabilidade do provete a ensaiar. Isto evidenciou-se, nomeadamente, nas argamassas que não continham metacaulino (CL (m), CL (h) e CL (s)).



Figura 3.28 – Provetes preparados e ensaio de absorção de água sob baixa pressão a decorrer

O coeficiente de absorção, referido na Equação 3.5, para este caso faz sentido aplicar-se não só para a duração total do ensaio,  $C_{abs,T}$ , em que  $V_a$  é o volume de água absorvida durante todo o ensaio ( $t=60$  min), mas também para o tempo necessário para serem absorvidos 4 ml,  $C_{abs,4ml}$ , em que  $t$  é o tempo que o provete precisa para absorver 4 ml ( $V_a=4$  ml).

### 3.11.1.6 Coesão superficial

Este ensaio não estava inicialmente planeado mas surgiu no decorrer da absorção de água sob baixa pressão, quando se observou que quantidades assinaláveis de argamassa sofriam arrancamento dos provetes em suporte de tijolo. Isto levou a que, numa tentativa de manutenção das condições de ensaio, se utilizasse a mesma plasticina para os restantes ensaios.

O ensaio consistiu simplesmente no arrancamento da plasticina utilizada para segurar os tubos de Karsten, no fim do ensaio de absorção sob baixa pressão, e foi realizado para as argamassas sem metacaulino de cura húmida, uma vez que foi o caso em que se revelou relevante. Os casos que não são apresentados mostraram arrancamentos residuais, à excepção da argamassa CL nas curas marítima e standard, somente aos 28 dias.

Os provetes onde foi detectado arrancamento exibiam uma elevada friabilidade.

### 3.11.2. Ensaios em provetes prismáticos

#### 3.11.2.1 Organização dos ensaios

Do esquema explicitado no organigrama resta apenas fazer os seguintes esclarecimentos: os ensaios de condutibilidade térmica e de massa volúmica foram efectuados antes do módulo de elasticidade dinâmico e o terço com o topo liso foi utilizado para o ensaio de porosidade aberta e massa volúmica aparente. As duas partes restantes foram secas e guardadas, separadamente, em sacos de plástico devidamente fechados, para minimizar a evolução da cura.

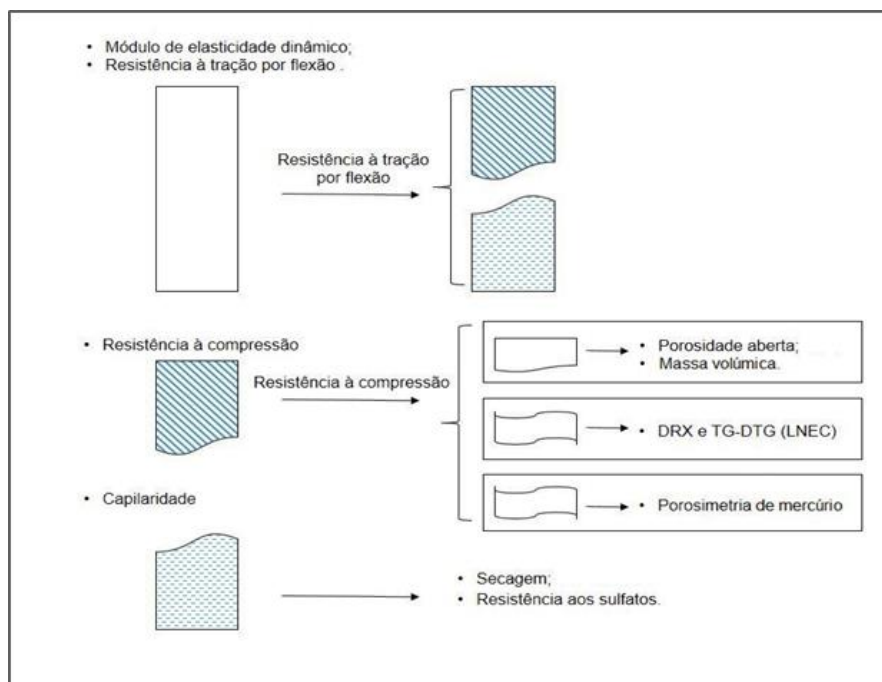


Figura 3.29 – Organigrama dos ensaios

Serão utilizadas em desenvolvimentos futuros, em ensaios complementares aos que estavam programados para serem efectuados e inseridos neste estudo. Uma das partes foi encaminhada para o

LNEC e irá ser utilizada para uma análise de difracção por raio X e análise TG-DTG e a outra será usada num ensaio de porosimetria de mercúrio (Fig. 3.29).

Os resultados obtidos em cada ensaio provieram da média e desvio-padrão dos valores de três provetes.

### 3.11.2.2 Condutibilidade térmica

As especificidades do ensaio, bem como o aparelho e o tipo de sonda utilizados (Fig. 3.30), já foram referidos no ponto 3.10.1.

Como forma de garantir a homogeneidade de condições de realização do ensaio, os provetes foram sempre colocados sobre uma placa de XPS e feitos na mesma sala.

O ensaio foi efectuado em dois pontos distintos, na face oposta à face rugosa.

Neste caso a área da sonda não ficava totalmente em contacto com o provete, o que faz com que o resultado obtido não seja correspondente à realidade, mas que permita a comparação entre resultados dos diferentes provetes prismáticos.

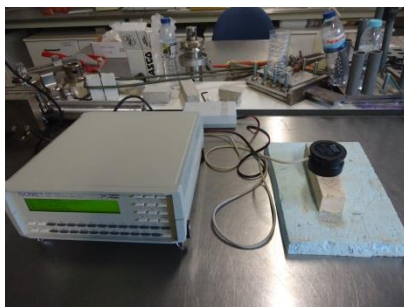


Figura 3.30 – Medição da condutibilidade térmica em provete prismático

### 3.11.2.3 Massa volúmica

O ensaio decorre com recurso a uma craveira de precisão 0,01 mm, fazendo-se a medição do comprimento, L, da largura, a, e da altura, b (Figura 3.31).

A largura foi medida nas duas extremidades do provete, sendo a única dimensão medida duas vezes. O valor resultante é obtido pela sua média.

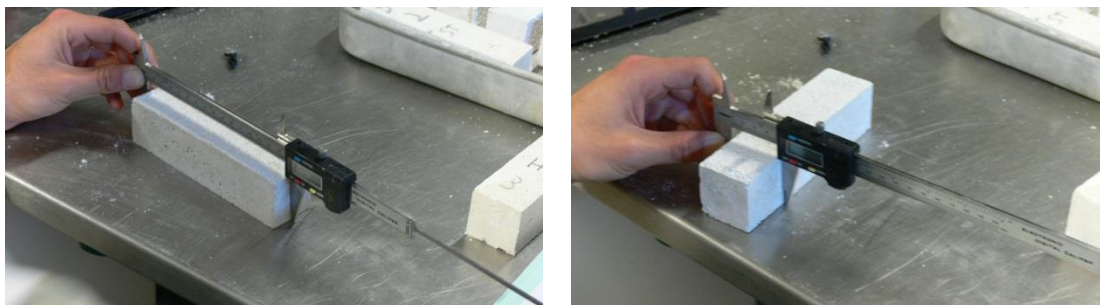


Figura 3.31 – Medição do comprimento e largura

Retirados os valores das três dimensões, através da sua multiplicação obtém-se o volume aparente do provete. As medições são feitas pontualmente e variações das mesmas ao longo do provete não são tidas em conta.

O passo seguinte foi saber a massa do provete com o uso de uma balança de 0,001 g de precisão. Com o volume e a massa, determina-se a massa volúmica.

### 3.11.2.4 Módulo de elasticidade dinâmico

É a propriedade mecânica que, neste caso, quantifica a capacidade da argamassa absorver deformações. O objectivo deste ensaio é caracterizar a resistência à fendilhação e a compatibilidade de deformabilidade com o suporte da argamassa.

O ensaio decorre com base na norma NP EN 14146 (IPQ, 2007b), que define métodos de ensaio para pedras naturais através da medição da frequência de ressonância fundamental.

O equipamento utilizado para a medição foi o “ZEUS Resonance Meter” (Figura 3.32), que, por sua vez se encontra associado a um programa de cálculo.

Antes do equipamento entrar em funcionamento, introduzem-se as dimensões (L, a e b) e a massa, retiradas do ensaio anterior, no programa de cálculo. Dá-se início ao processo. O método de funcionamento do aparelho consiste na colocação do provete entre um receptor e um emissor de ultra-sons, daí são extraídos picos de frequência que reflectem a frequência de ressonância longitudinal, a partir da qual se retira o módulo de elasticidade dinâmico, segundo a seguinte fórmula:

$$E_{din} = (2 \times L \times f_0) \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6}$$

Equação 3.6

Onde,

$E_{din}$  [MPa]: módulo de elasticidade dinâmico;

L [mm]: comprimento do provete;

$f_0$  [Hz]: frequência de ressonância longitudinal calculada;

$\rho$  [N/m<sup>3</sup>]: peso volúmico do provete;

g [m/s<sup>2</sup>]: aceleração da gravidade.

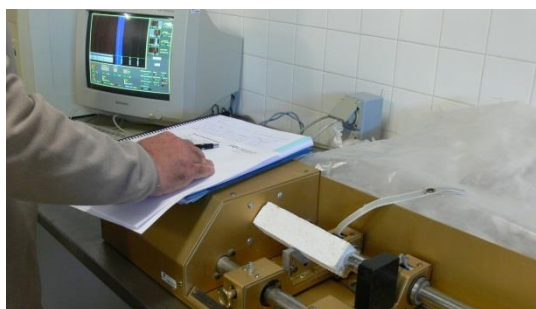


Figura 3.32 – Ensaio de módulo de elasticidade com ZEUS Resonance Meter

### 3.11.2.5 Resistência à tração por flexão

É o primeiro dos ensaios destrutivos.

Por ser um ensaio de resistência mecânica, o equipamento utilizado foi uma máquina universal Zwick/Rowell, modelo Z050, com recurso a uma célula de carga máxima 2 kN colocada na extremidade em contacto com o provete.



A norma seguida é a EN 1015-11 (CEN, 1999a).

Como o próprio nome do ensaio indica o que é imposto ao provete é uma rotura por flexão. Essa rotura é provocada por acção em três pontos, dois pontos de apoio e aplicação de carga a meio vão.

Procedeu-se à colocação cuidadosa do provete, com grande importância para o decorrer do ensaio. O provete foi disposto de modo que a face rugosa (que não é mais do que face que não estava em contacto com o molde durante os primeiros três dias de cura) não ficasse em contacto com os apoios nem com a célula. Teve-se em atenção o facto da célula ter de estar toda em contacto com o provete. Com o provete centrado e alinhado pelos apoios, deu-se início ao carregamento, através do programa associado à máquina (Fig. 3.33).



Figura 3.33 – Ensaio de resistência à tração por flexão em máquina universal Zwick/Rowell

O carregamento foi imposto a uma velocidade constante de 0,2 mm/min, à medida que este podia ser observado graficamente pela força aplicada em função do tempo decorrido. Nesse mesmo gráfico pôde ser observada a força máxima aplicada, que se tem no instante antes de se dar a rotura.

O valor da resistência à tração por flexão calcula-se através da equação:

$$R_t = \frac{1,5 \times F_{f, \text{máx}} \times l}{b^3}$$

Equação 3.7

Onde,

$R_t$  [MPa]: resistência à tração por flexão;

$F_{f, \text{máx}}$  [N]: carga de rotura de tração por flexão;

$l$  [mm]: distância entre pontos de apoio;

$b$  [mm]: dimensão do lado da secção quadrada do provete.

Após o ensaio terminar, o provete é dividido, manualmente, em duas partes, pela zona da fissura consequente do ensaio (Fig. 3.34). A metade com a extremidade menos lisa é utilizada no ensaio de resistência à compressão e a outra segue para o ensaio de absorção de água por capilaridade (3.11.2.9).

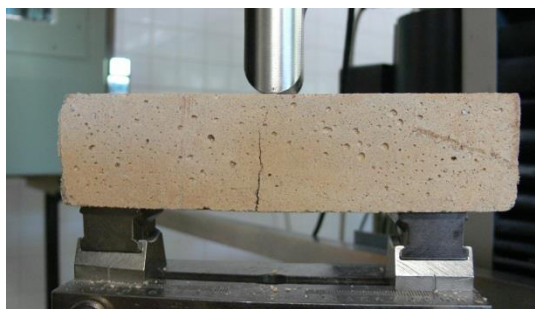


Figura 3.34 – Aspecto do provete no fim do ensaio de resistência à tracção por flexão, após a rotura

### 3.11.2.6 Carbonatação

A verificação da profundidade de carbonatação foi determinada aos 90 dias de cura, logo após o ensaio de resistência à tracção por compressão. Não foi efectuado nos outros tempos de cura devido inicialmente à idade ser demasiado jovem ou à indisponibilidade de recursos.

Este ensaio consiste na aplicação de uma solução de fenolftaleína em álcool diluído, que resulta numa variação cromática uma vez em contacto com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), adquirindo uma cor rosa, enquanto a parte carbonatada ( $\text{CaCO}_3$ ) não se altera.

É importante referir que a cor rosa indica a presença de  $\text{Ca(OH)}_2$  mas não necessariamente a ausência total de carbonatação, ou seja, o ensaio com fenolftaleína é uma indicação do pH (cor rosa para pH maior do que cerca de 9,5, caso do hidróxido de cálcio) mas não faz distinção entre um pH baixo causado por carbonatação ou por outros compostos ácidos (Queiróz-Lima, 2012).

### 3.11.2.7 Resistência à compressão

Na realização deste ensaio destrutivo utiliza-se a mesma norma e equipamento do ensaio 3.11.2.5, apenas com a alteração para uma célula de carga máxima 50 kN (Fig. 3.35).

A metade do provete a ensaiar é de novo colocada de forma a que a face rugosa não seja nenhuma das duas faces em contacto com a célula que aplica a força durante o ensaio.

O carregamento tem início, com uma velocidade de aplicação de carga de 0,7 mm/min. Esse carregamento é acompanhado, em tempo real, num gráfico que relaciona a força aplicada com o tempo decorrido. Retira-se a força de compressão máxima que foi aplicada. Dividindo essa mesma força pela área de secção onde ela é aplicada, obtém-se o valor da resistência à compressão.



Figura 3.35 – Ensaio de resistência à compressão

Findo o ensaio obtém-se o provete dividido em três partes (Fig. 3.36). Todas foram secas em estufa a 60°C.



Figura 3.36 – Aspecto do provete no fim do ensaio de resistência à compressão, após a rotura

O terço com o topo liso foi utilizado para o ensaio de porosidade aberta e massa volúmica aparente.

#### **3.11.2.8 Porosidade aberta e massa volúmica aparente**

Este ensaio baseou-se na norma para ensaio de pedra natural NP EN 1936 (IPQ, 2008), com adaptação para o tipo de provetes em estudo.

Foram usadas as extremidades exteriores dos provetes provenientes do último ensaio referido. Estes provetes foram submetidos durante 24 horas a 60 °C em estufa, para que atingissem massa constante e foram retirados da mesma apenas o tempo suficiente para que pudessem arrefecer, antes de serem pesados.

Durante o arrefecimento os provetes são envolvidos individualmente em tecido de nylon atado nas extremidades com fio de nylon. Este procedimento decorre da necessidade de impedir perdas de material devido à friabilidade das argamassas, aliado à necessidade de menor absorção possível de água, de modo a não influenciar os resultados do ensaio.

Pesam-se os provetes. A balança utilizada possui uma precisão de 0,001 g.

Introduzem-se os provetes num exsiccador totalmente vedado, onde são sujeitos à acção de uma bomba de vácuo durante 24 horas, para que todo o ar no interior dos provetes seja retirado, até ser atingida a pressão de 20 Torr (aproximadamente 0,0267 bar) (Fig. 3.37). Seguidamente introduziu-se água de forma lenta (cerca de 1 dm<sup>3</sup> a cada 2 minutos) e por acção do vácuo, isto para que não se formem bolsas de ar e toda a porosidade aberta seja preenchida por água. Após todos os provetes se encontrarem submersos e a entrada de água fechada, o sistema é de novo deixado em vácuo por mais 24 horas.

Concluído esse período a bomba é desligada, o exsiccador aberto e os provetes submersos mas agora à pressão atmosférica, durante 24 horas.





Figura 3.37 – Exsicador em vácuo na primeira fase do ensaio e com água

No fim das 72 horas de permanência no exsicador, o mesmo é colocado perto da balança para que os provetes sejam pesados directamente, contactando com o ar o menos tempo possível. Os provetes pesam-se em conjuntos de três. Primeiro efectua-se a pesagem da massa hidrostática para cada um dos três provetes, numa balança previamente preparada para o efeito, com um suporte na parte inferior da balança, inserido num recipiente com água (Figs. 3.38 e 3.39).



Figura 3.38 – Suporte da balança para pesagem hidrostática

Seguidamente limpam-se todas as faces com um pano para que não seja contabilizado algum excesso de água que possa existir no tecido de nylon e faz-se a pesagem da massa do provete saturado, para cada um dos três provetes .



Figura 3.39 – Balança utilizada nos ensaios de porosidade aberta e massa volúmica aparente

Finda a pesagem da totalidade dos provetes, determina-se a porosidade aberta, através da equação:

$$P_{ab} = \frac{v}{V} = \frac{m_2 - m_0}{m_2 - m_1} \times 100$$

Equação 3.8

Onde,

$P_{ab}$  [%]: porosidade aberta;

$v$  [m<sup>3</sup>]: volume de vazios;

$V$  [m<sup>3</sup>]: volume do provete;

$m_0$  [g]: massa do provete seco;

$m_1$  [g]: massa hidrostática do provete;

$m_2$  [g]: massa do provete saturado.

E retira-se o valor da massa volúmica aparente com a equação:

$$MV_{ap} = \frac{m}{V} = \frac{m_0}{m_2 - m_1} \times 10^3$$

Equação 3.9

Onde,

$MV_{ap}$  [kg/m<sup>3</sup>]: porosidade aberta;

$V$  [m<sup>3</sup>]: volume do provete;

$m_0$  [g]: massa do provete seco;

$m_1$  [g]: massa hidrostática do provete;

$m_2$  [g]: massa do provete saturado.

### 3.11.2.9 Absorção de água por capilaridade

Neste ensaio são usadas as meias partes dos provetes provenientes do ensaio de resistência à tração por flexão.

O ensaio foi realizado com base nas normas EN 15801:2009 (CEN, 2009) e EN 1015-18:2002 (CEN, 2002).

Antes de se iniciar o ensaio os provetes ficaram um mínimo de 48 horas na estufa a 60°C, até atingirem uma massa constante (correspondente a uma variação de 0,1% de massa num intervalo de 24 horas).

Os provetes são retirados da estufa e, após arrefecidos à temperatura ambiente, são envolvidos em película aderente com o intuito de impermeabilizar as faces laterais e permitir apenas que a água seja absorvida por ascensão capilar unidireccional.

O ensaio decorre numa caixa estanque, que cria condições de ambiente saturado. No seu interior é colocado um tabuleiro, nivelado, com uma rede plástica na base (que garante que a base do provete está em contacto com a água) e com uma lâmina de água 5 mm acima do nível da rede. É adicionada água sempre que seja necessário para que a altura da lâmina de água se mantenha constante.

Pesam-se os provetes de modo a obter-se a massa inicial,  $m_0$ . Introduzem-se os provetes sobre a rede, em contacto com a água (Fig. 3.40).

Efectuam-se pesagens aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos e a cada hora subsequente até que se verifique que a curva de absorção capilar atingiu o patamar de estabilização, sendo esta traçada durante a realização do ensaio.

Para que não haja interrupções na absorção é colocada uma caixa de petri com água sobre a balança em todas as pesagens. A precisão da balança utilizada é de 0,001 g.

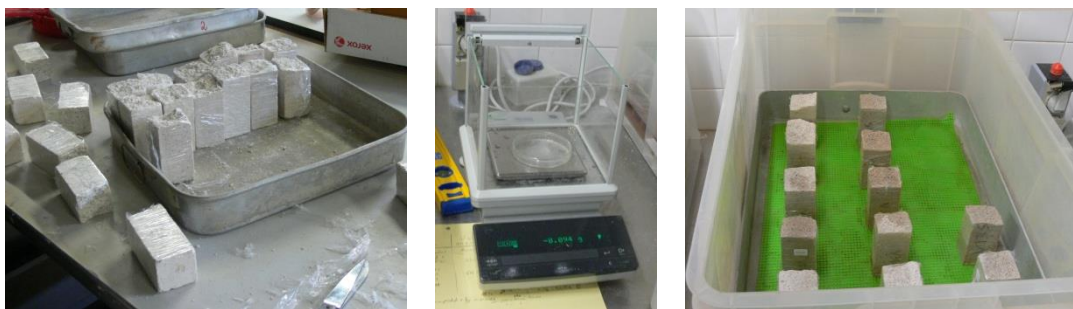


Figura 3.40 – Colocação da película aderente, balança com a caixa de petri e ensaio de absorção de águas por capilaridade

O ensaio terminou quando a diferença de massa entre duas pesagens sucessivas de 24 horas foi inferior a 1% de acordo com a norma EN 15801 (CEN, 2009), uma vez que em nenhum caso se atingiram os oito dias.

Com os dados obtidos traça-se um gráfico que relaciona a quantidade de água absorvida por unidade de área de base em função da raiz quadrada do tempo, a partir do qual se determina a curva de absorção de água por capilaridade. O valor da ordenada do gráfico é dado pela seguinte equação:

$$M = \frac{m_i - m_0}{S}$$

Equação 3.10

Onde,

$M$  [kg/ m<sup>2</sup>]: massa de água absorvida pela área da base;

$m_0$  [kg]: massa inicial do provete;

$m_i$  [kg]: massa do provete no instante  $t_i$ ;

$S$  [m<sup>2</sup>]: área da superfície do provete em contacto com a água.

Em seguida, o que se pretende conhecer é o coeficiente de capilaridade. O seu valor é o declive da recta da fase inicial da curva de capilaridade, obtida através de uma regressão linear. Esta fase inicial é muito relativa, pois cada provete tem uma duração para os pontos representativos da recta, ou seja, o coeficiente de capilaridade é determinado individualmente. Para garantir a coerência dos resultados, os declives são analisados graficamente e a sua ordem verificada com o respectivo valor do coeficiente de capilaridade.

Assim, o coeficiente de capilaridade é determinado pela equação da recta, na fase inicial do gráfico.

$$y = m \times x + b$$

Equação 3.11

Onde,

$m$  [kg/ (m<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>)]: coeficiente de capilaridade;

$y$  [kg/ m<sup>2</sup>]: valor da fase considerada inicial do gráfico;

$x$  [min<sup>1/2</sup>]: valor da fase considerada inicial do gráfico;

$b$  [kg/ m<sup>2</sup>]: ordenada na origem, 0.

Outro valor que interessa determinar é o valor assintótico, que não é mais do que a quantidade máxima de água absorvida por unidade de área.

### 3.11.2.10 Secagem

O ensaio de secagem inicia-se no instante em que o ensaio de capilaridade termina, isto é, após o último valor obtido com o ensaio de capilaridade (que é também o primeiro do ensaio de secagem) os provetes são colocados em condições de secagem.

O ensaio tem como base o Test No. II.5 “Evaporation curve” da RILEM (RILEM, 1980a) e em Brito (Brito *et al.*, 2011).

A importância de conhecer o modo com que as argamassas perdem a água que absorveram, para melhor se saber o seu desempenho ao nível de durabilidade, levou à realização deste ensaio.

Depois da pesagem inicial efectuada, colocam-se os provetes numa bancada perfeitamente impermeável e lisa, nas condições de cura standard (temperatura e humidade relativa de 20±3 °C e 65±5%). Estas condições pretendem que apenas haja secagem na zona superior do provete, uma vez que a bancada impede a secagem pela base e a película aderente impede a secagem pelas outras faces (Fig. 3.41).



Figura 3.41 – Disposição dos provetes durante o ensaio de secagem

Na primeira fase do ensaio, os provetes são pesados em cada hora até atingirem a estabilidade, ou seja, a variação entre valores consecutivos ser inferior ou igual a 0,2%. Na segunda fase os provetes são pesados sensivelmente de 24 horas em 24 horas até se atingirem, no mínimo, as 550 horas de secagem.

Com os dados retirados pode-se obter a curva de secagem correspondente a cada provete. Para isso é necessário calcular o teor em água, segundo a equação:

$$W_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100$$

Equação 3.12

Onde,

$W_t$  [%]: teor em água;

$m_0$  [g]: massa do provete seco;

$m_i$  [g]: massa do provete no instante  $t_i$ .

Com os valores obtidos é possível traçar a curva de secagem, com teor em água em função do tempo, em horas.

Interessa ainda conhecer a taxa e o índice de secagem.

O primeiro parâmetro corresponde ao declive do troço inicial da curva de secagem, que varia entre tempos de cura. A taxa de secagem, TS, é dada em massa por unidade de volume e hora. O tempo de ensaio utilizado foi de 5 horas.

O índice de secagem é calculado segundo um método simplificado de integração numérica, a regra do trapézio (Brito *et al.*, 2011 - Faria *et al.*, 2012), que se traduz na equação:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{W_{t,i-1} + W_{t,i}}{2}]}{W_{máx} \times t_t}$$

Equação 3.13

Onde,

IS [-]: índice de secagem;

$t_i$  [h]: tempo no instante  $i$ ;

$W_{t,i}$  [%]: teor em água no instante  $i$ ;

$W_{t,máx}$  [%]: teor em água máximo (inicial);

$t_t$  [h]: tempo total do ensaio.

### 3.11.2.11 Resistência a sulfatos

Este é um ensaio destrutivo.

O ensaio foi baseado na norma NP EN 12370 (IPQ, 2001), desenvolvida para o ensaio de resistência à cristalização de sais para pedras naturais e em Faria (Faria, 2004). Devido à análise de estudos anteriores (Faria, 2004), a concentração da solução foi alterada, reduzindo-se a quantidade de sulfato de sódio anidro por cada litro de água. Isto faz com que a solução fique menos concentrada e, logo, melhor adaptada à realidade das argamassas de cal.

Os provetes são introduzidos na estufa a 100 °C durante um período de quarenta e oito horas, para que atinjam massa constante. Prepara-se a solução de sulfato de sódio anidro a 3,09%, obtida pela adição de 32,9 g de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) por cada litro de água. A solução é vertida numa caixa de polietileno de modo a cobrir confortavelmente todos os provetes, cujo fundo está coberto por uma rede do mesmo material, para que a base dos provetes esteja igualmente em contacto com a solução (Fig. 3.42). Sempre que necessário ao longo do ensaio foi adicionada mais solução à caixa.

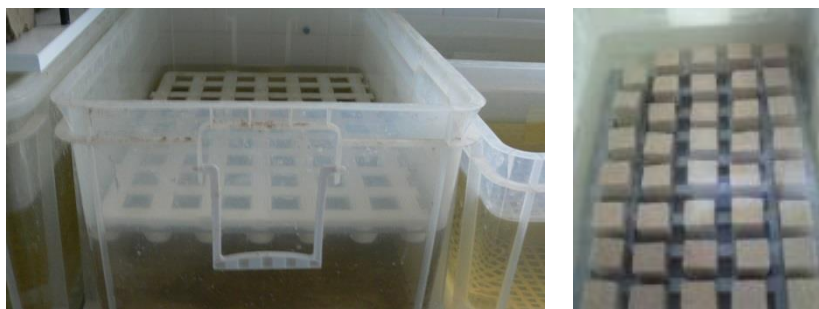


Figura 3.42 – Caixa utilizada para o ensaio de resistência aos sulfatos e disposição dos provetes durante imersão

Retiram-se os provetes da estufa, deixando-os à temperatura ambiente durante aproximadamente trinta minutos para que a sua temperatura baixe. Pesam-se os provetes, obtendo-se as suas massas iniciais. A precisão da balança utilizada durante todo o ensaio é de 0,001 g. De seguida colocam-se os provetes no interior da caixa com a solução e verifica-se que as distâncias mínimas referidas na norma estão a ser respeitadas, ou seja,  $8 \pm 2$  mm de altura de solução acima dos provetes, 10 mm de espaçamento entre provetes e 20 mm de espaçamento entre os provetes e as paredes da caixa onde estes se encontram.

Os provetes permanecem nas condições descritas durante um período aproximado de duas horas, ao fim das quais são retirados e colocados sobre uma grelha, um a um, onde escorrem o excesso de solução. Seguidamente são colocados num tabuleiro metálico, com o cuidado de não haver contacto entre eles e voltam a ser introduzidos na estufa com as mesmas condições.

Isto, para os ensaios a 28 dias, significava que passadas 24 horas em estufa, estava completo o 1º ciclo. Mas o ensaio sofreu uma alteração para as outras idades. A partir dos ensaios de 90 dias, o procedimento passou a ser o descrito de seguida.

Os provetes são mantidos na estufa durante 72 horas, após as quais são retirados e pesados nas mesmas condições descritas anteriormente e voltam à estufa. Passadas 24 horas voltam a ser pesados com o objectivo de verificar se a sua massa já estabilizou (variação inferior a 1% num espaço de 24 horas). Caso não tenham estabilizado, são pesados passadas 24 horas e assim sucessivamente até que se verifique a estabilização. Deste modo é possível conhecer a retenção inicial de sulfatos nos provetes, dividindo a massa final pela inicial (ambas secas).

Verificada a estabilização da massa dos provetes, logo após a pesagem eles são introduzidos na solução, onde permanecem durante duas horas. Segue-se o processo de escorrimento já descrito e a introdução na estufa. A verificação da estabilização apenas é efectuada para o 1º ciclo, após o qual há somente um período mínimo de permanência em estufa de 24 horas, período esse que só foi alargado durante os fins-de-semana.

O processo de molhagem e secagem sucede-se até que sejam completados 25 ciclos ou que os provetes se desintegram. Com a variação de massa ocorrida obtém-se a curva com a variação de massa ao longo dos ciclos. Ao fim do 1º ciclo (aos 90 e 180 dias) tem-se a percentagem de sulfatos retidos.

Em quase todos os casos não houve desintegração total do provete e o remanescente foi seco em estufa a 60 °C e armazenado num saco de plástico para que pudessem dar lugar a ensaios de desenvolvimento futuro.





## 4. EXPOSIÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados do ensaio de baridade

O único material ao qual se efectuou o ensaio de baridade especificamente para este estudo foi a cal aérea. De todos os outros constituintes das argamassas estudadas já eram conhecidos os valores das suas respectivas baridades.

No Quadro 4.1, apresentam-se as baridades de todos os constituintes.

Quadro 4.1 – Baridades dos constituintes

Constituintes	Abreviatura	Baridade constituintes [g/cm <sup>3</sup> ]
Cal aérea	CL	0,361
Areia APAS 12	Ar 12	1,412
Areia APAS 20	Ar 20	1,405
Areia APAS 30	Ar 30	1,388
Metacaulino	Mk	0,294
Mistura areias	Ag	1,463

O valor mais elevado da baridade da mistura de areias em relação aos seus valores individuais, deve-se ao preenchimento dos vazios das granulometrias mais grossas por partículas de granulometria mais fina. No entanto, esta mistura não foi otimizada e, no manuseamento da mistura, verifica-se que poderia ser melhorada pela utilização de um teor mais elevado da areia de granulometria mais fina, APAS 30.

Os valores das baridades obtidos são idênticos aos utilizados nos estudos de Branco (Branco, 2013) e Jamú (Jamú, 2013).

Partindo do traço volumétrico definido inicialmente (1:2) e com os valores das baridades, foi possível chegar-se aos traços apresentados no Quadro 3.4. Com base nesses valores obtiveram-se e as relações indicadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Relações água/cal aérea, água/metacaulino e água/ligante

Argamassas	Relação A/CL	Relação A/Mk	Relação A/L *
CL	1,73	-	1,73
CL_10Mk	1,92	17,30	1,73
CL_20Mk	2,16	8,65	1,73

\* L= CL+Mk

### 4.2. Resultados dos ensaios às argamassas em estado fresco

#### 4.2.1. Consistência por espalhamento e massa volúmica

A análise destes resultados em conjunto deve-se à norma EN 1015-2: 1998 (CEN, 1998a), que define valores de espalhamento em função da massa volúmica.

Todos os valores de espalhamento encontram-se dentro da mesma gama  $140 \pm 10$  mm (Quadro 4.3), que, segundo a norma, corresponde a valores de massa volúmica entre 300 e 600  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ , sendo que para os valores de massa volúmica obtidos, o espalhamento deveria ser da ordem dos  $175 \pm 10$  mm. Acontece que isto se verifica para argamassas com base em cimento. No caso de argamassas com base em cal aérea a trabalhabilidade apurada para este espalhamento é adequada, mesmo para esta variação de valores em relação à norma. Caso se pretendesse aproximar os valores, as argamassas tornar-se-iam difíceis de aplicar e apresentariam comportamentos ineficientes, por exemplo, no que diz respeito à retracção (Faria *et al.*, 2008), devido à adição excessiva de água. É importante ainda referir que a mesa de espalhamento utilizada não está conforme a última versão da norma, o que também justifica o seu não cumprimento literal.

Quadro 4.3 – Médias e desvios padrão dos valores de espalhamento e valores de massa volúmica

Argamassas	Espalhamento [mm]		MV $[\text{kg}/\text{m}^3]$
	Méd.	D. P.	
CL	141,0	2,6	1952,2
CL_10Mk	134,1	2,7	1965,1
CL_20Mk	136,7	2,0	1961,7

Como todos os valores de espalhamento se encontravam na mesma gama, como já foi referido anteriormente, e as argamassas apresentavam uma boa trabalhabilidade, a quantidade de água foi mantida em todas as misturas. Observou-se uma redução do espalhamento da argamassa de referência para as que continham metacaulino, no entanto, entre as substituições de 10% e 20% não se verificaram diferenças importantes.

#### 4.2.2. Teor em ar

Apesar de não permitirem retirar conclusões de relevo, estes valores mostram que a quantidade de metacaulino não tende a influenciar o teor em ar da argamassa (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 – Valores de teor em ar

Argamassas	Teor de ar [%]
CL	4,2
CL_10Mk	4,3
CL_20Mk	4,1

Apenas foi efectuada uma medição de teor em ar para cada argamassa, pois a realização deste ensaio inutilizava a argamassa utilizada. Por uma questão de gestão de recursos e para reduzir o desperdício, ficou assim decidido.

#### 4.2.3. Retenção de água

Através do Quadro 4.5 com os valores de média e desvio padrão de quantidade de água retida, observa-se a propensão para uma maior retenção por parte da argamassa de referência. No

conjunto dos valores das diferentes argamassas não há uma variação importante que leve a mudanças de comportamento assinaláveis.

Quadro 4.5 – Médias e desvios padrão dos valores de retenção de água

Argamassas	Quantidade de Água Retida [%]	
	Méd.	D. P.
CL	93,9	1,2
CL_10Mk	92,4	0,4
CL_20Mk	92,8	1,1

#### 4.3. Resultados da caracterização do suporte – Absorção de água sob baixa pressão

No Quadro 4.6, são apresentadas as quantidades de água absorvida pelos três tubos de Karsten, as suas médias e os respectivos desvios padrão. Através da Figura 4.1 é possível acompanhar a evolução da absorção de água ao longo dos tempos de medição do ensaio.

Quadro 4.6 – Valores individuais, médias e desvios padrão de absorção de água sob baixa pressão

Tempo [min]	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	D. P.
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,4	0,6	0,2	0,4	0,2
10	0,7	0,9	0,5	0,7	0,2
15	0,9	1,2	0,7	0,9	0,2
30	1,5	1,8	1,4	1,6	0,2
60	2,5	2,9	2,3	<b>2,6</b>	0,2

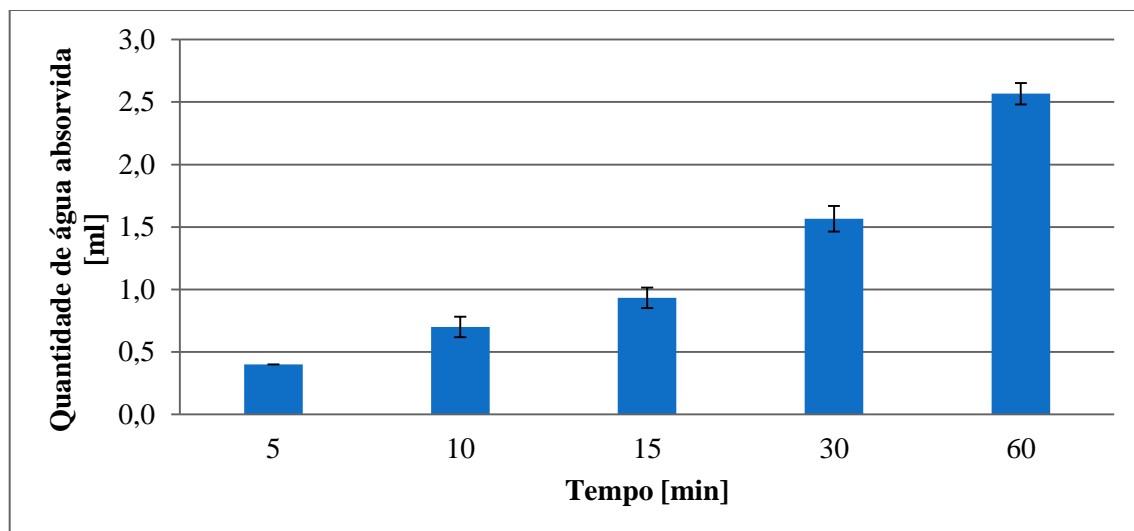


Figura 4.1 – Quantidade de água absorvida pelo tijolo furado a cada instante

Obteve-se ainda um valor de coeficiente de absorção total de 0,69 [kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)]. Tendo em conta que em nenhum dos tubos de Karsten se atingiu a absorção de 4 ml, o coeficiente de absorção de 4 ml não é mencionado.

#### 4.4. Resultados dos ensaios às argamassas em estado endurecido

##### 4.4.1. Provetes em suporte de tijolo

##### 4.4.1.1 Dureza superficial

A média dos valores de dureza superficial de cada argamassa, bem como os respectivos desvios padrão, obtidos com este ensaio aos 28, 90 e 180 dias, são apresentados no Quadro 4.7. Na Figura 4.2 pode acompanhar-se a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Quadro 4.7 – Médias e desvios padrão dos valores de dureza superficial

Argamassas	Dureza superficial (shore-A)					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	71	8	64	17	65	10
CL_10Mk (m)	66	9	70	13	70	11
CL_20Mk (m)	72	9	71	12	79	11
CL (h)	63	10	60	18	65	12
CL_10Mk (h)	64	10	70	15	71	14
CL_20Mk (h)	74	9	69	11	65	8
CL (s)	65	8	63	7	62	7
CL_10Mk (s)	75	10	69	8	75	10
CL_20Mk (s)	73	8	71	14	68	12

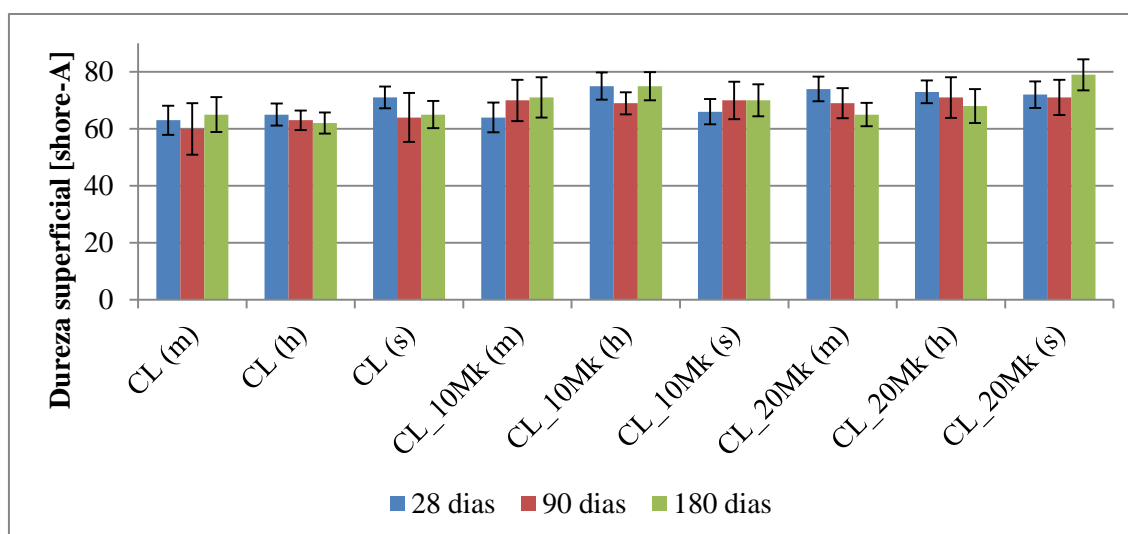


Figura 4.2 – Dureza superficial de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

Através da Figura 4.2 pode observar-se que os desvios padrão são bastante elevados, havendo uma tendência de diminuição dos valores dos 28 para os 90 dias, com excepção, apenas, das argamassas CL\_10Mk (m) e CL\_10Mk (s). Em relação à argamassa de referência denota-se um aumento dos valores das argamassas com metacaulino aos 90 e 180 dias.

A falta de precisão deste ensaio foi visível durante a sua realização, por exemplo devido à escala ser por vezes ultrapassada sempre que havia presença de grãos de areia à superfície. Foi necessário escolher zonas mais regulares para efectuar a medição da dureza superficial.

#### 4.4.1.2 Condutibilidade térmica

Os valores da média de cada grupo de três provetes da mesma argamassa, juntamente com os seus desvios padrão, aos 28, 90 e 180 dias de cura, encontram-se no Quadro 4.8. A Figura 4.3 permite acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Quadro 4.8 – Médias e desvios padrão dos valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo

Argamassas	$\lambda$ [W/(m.K)]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	0,672	0,115	0,513	0,035	0,474	0,036
CL_10Mk (m)	0,482	0,046	0,490	0,047	0,507	0,038
CL_20Mk (m)	0,499	0,038	0,487	0,046	0,539	0,027
CL (h)	0,680	0,087	0,564	0,061	0,492	0,059
CL_10Mk (h)	0,804	0,067	0,570	0,049	0,562	0,037
CL_20Mk (h)	0,674	0,126	0,556	0,056	0,505	0,049
CL (s)	0,365	0,099	0,358	0,113	0,387	0,096
CL_10Mk (s)	0,391	0,021	0,425	0,043	0,443	0,028
CL_20Mk (s)	0,493	0,024	0,536	0,037	0,528	0,046

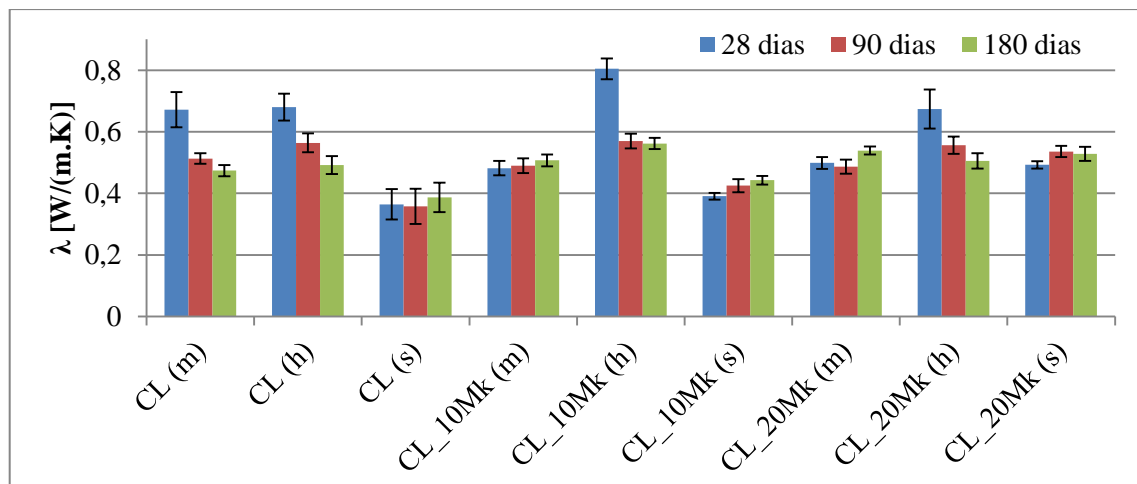


Figura 4.3 – Condutibilidade térmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias, em provetes em suporte de tijolo

Fazendo uma análise à Figura 4.3 observa-se que os valores das argamassas da cura húmi-da decrescem ao longo das idades de cura e possuem os valores mais elevados, à excepção da CL\_20Mk (h) aos 180 dias, ao contrário das argamassas da cura standard, que têm os valores mais baixos, com a excepção da CL\_20Mk (s) aos 90 dias. Para todas as idades, a argamassa CL\_10Mk (h) tem os valores superiores.

#### 4.4.1.3 Velocidade de propagação de ultra-sons

A média dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons nas argamassas em suporte de tijolo e os seus desvios padrão, aos 28, 90 e 180 dias encontram-se no Quadro 4.9. Na Figura 4.4 é possível acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades. Na Figura 4.5 estão representadas as médias das velocidades, em cada um dos provetes em suporte de tijolo, aos 28, 90 e 180 dias, organizados por idade e cura.

Quadro 4.9 – Médias e desvios padrão dos valores de velocidade de propagação dos ultra-sons

Argamassas	Velocidade Ultra-sons [m/s]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	936	126	997	202	910	87
CL_10Mk (m)	1043	207	1193	199	1053	176
CL_20Mk (m)	1467	468	1372	132	1248	91
CL (h)	1133	148	1003	156	1331	157
CL_10Mk (h)	1202	174	997	159	1114	231
CL_20Mk (h)	1397	184	1177	97	1279	69
CL (s)	1185	177	922	65	1128	143
CL_10Mk (s)	1363	119	1266	120	1446	169
CL_20Mk (s)	1255	131	1051	98	1119	80

Através da Figura 4.4 viu-se que em quase todas as argamassas houve uma redução da velocidade de propagação dos ultra-sons aos 90 dias, em comparação com os 28 dias, que se pode ficar a dever a um menor teor de humidade dos provetes, uma vez que os ultra-sons não se propagam de um meio sólido para um meio gasoso e, ao encontrarem porosidade, têm de a contornar, levando a um caminho mais longo e à consequente redução de velocidade aparente. Verificou-se ainda que, nos casos de todas as argamassas aos 28 dias e das argamassas de cura marítima em todas as idades, deu-se um aumento genérico da velocidade com o aumento da percentagem de metacaulino, exceptuando a argamassa CL\_20Mk (s).

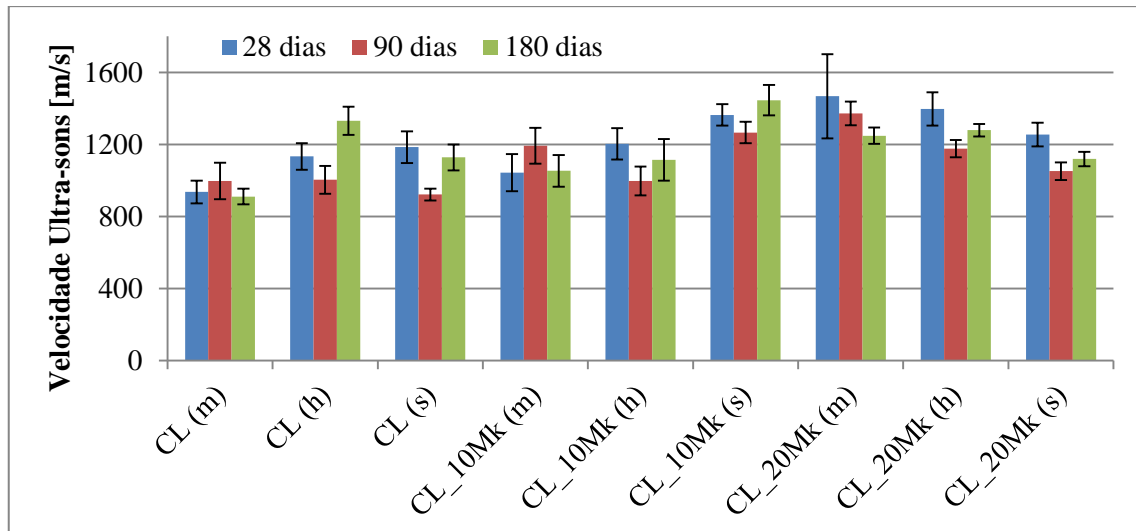


Figura 4.4 – Velocidade de propagação de ultra-sons de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias de cura

A Figura 4.5 serve para observar a evolução dos valores de velocidade de propagação de ultra-sons das argamassas em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, às três idades de ensaio. Esta figura, apesar de conter a mesma informação do que a Figura 4.4, tem-na organizada de outra forma, facilitando a análise da influência do metacaulino.

Aos 28 dias observa-se um pendor para o aumento das velocidades com o aumento da quantidade de metacaulino; nas curas marítima e húmida é inequívoco e na standard apenas não se verifica da argamassa CL\_10Mk para a CL\_20Mk. Esta situação provavelmente é devida ao preenchimento dos vazios por parte do metacaulino, actuando como *filler*.

Aos 90 dias as tendências dos 28 dias mantêm-se, excepto no caso da cura húmida que revela um ligeiríssimo decréscimo de velocidade da argamassa de referência para a CL\_10Mk.

Aos 180 dias o pendor da cura marítima mantém-se consistente. Já as outras curas revelam valores muito próximos entre as argamassas CL e CL\_20Mk e valores opostos no que toca as CL\_10Mk, sendo este valor inferior na cura húmida e muito superior na cura standard.

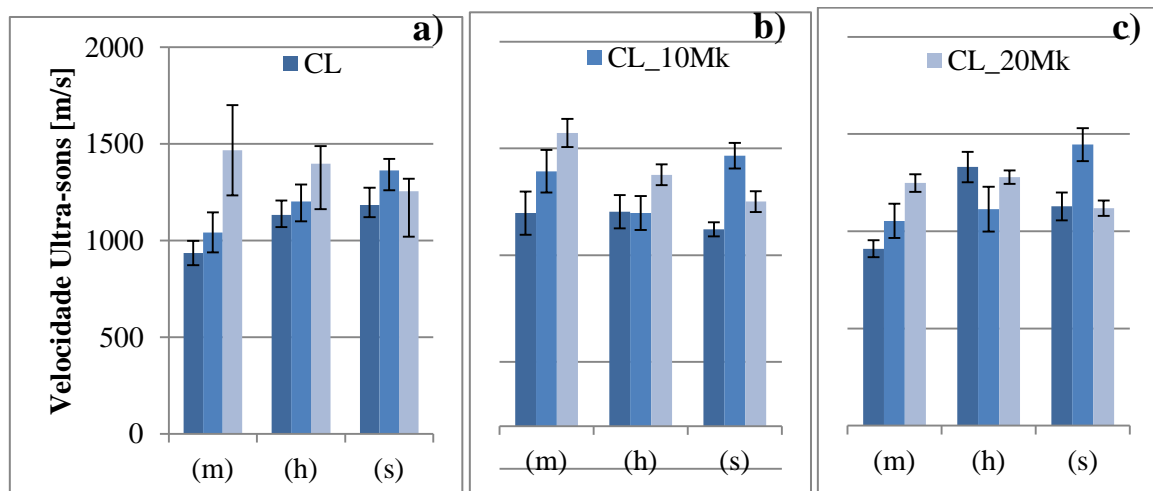


Figura 4.5 – Velocidade de propagação de ultra-sons de todas as argamassas aos 28 (a), 90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura

#### 4.4.1.4 Absorção de água sob baixa pressão

Através da Figura 4.6 é possível acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades. No

Quadro 4.10, no Quadro 4.11 e no Quadro 4.12 estão expostos os valores de médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas de referência, com substituição de 10% e 20%, respectivamente. Na Figura 4.7, na Figura 4.9 e na Figura 4.11 estão representadas as médias das quantidades de água absorvida pelos três tubos de Karsten, em cada um dos provetes em suporte de tijolo, a cada um dos instantes medidos aos 28, 90 e 180 dias, respectivamente. A Figura 4.8, a Figura 4.10 e a Figura 4.12 têm o registro da média do tempo necessário para serem absorvidos os primeiros 4 ml de água.

Analisando em conjunto a Figura 4.6, a Figura 4.7, a Figura 4.9 e a Figura 4.11, observa-se que dos 28 para os 90 dias, a quantidade de água absorvida e o coeficiente de absorção diminuem para as argamassas de cura marítima mas aumentam nas argamassas CL das curas húmida e standard. Dos 90 para os 180 dias há um aumento global da água absorvida e o coeficiente de absorção. Para as curas húmida e standard, a quantidade de água absorvida e o coeficiente de absorção diminuem com aumento da quantidade de metacaulino nas argamassas, qualquer que seja o instante ou a idade.

Quadro 4.10 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas de referência, aos 28, 90 e 180 dias

Argamassas	Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]					
		28 dias		90 dias		180 dias	
		Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL (m)	5	9,5	0,8	5,1	1,4	10,2	0,5
	10	14,5	1,0	8,0	2,3	16,0	1,1
	15	19,1	0,9	10,4	3,3	20,4	1,7
	30	30,2	0,5	15,7	5,4	29,2	3,1
	60	<b>49,1</b>	<b>4,6</b>	<b>24,6</b>	<b>8,4</b>	<b>41,0</b>	<b>4,9</b>
CL (h)	5	10,5	0,6	20,3	6,2	31,0	2,8
	10	14,8	0,3	31,5	6,8	47,8	3,6
	15	19,1	0,0	40,0	8,8	61,6	2,8
	30	28,9	0,5	58,4	14,5	92,2	2,7
	60	<b>43,0</b>	<b>1,1</b>	<b>80,8</b>	<b>21,2</b>	<b>141,7</b>	<b>3,5</b>
CL (s)	5	14,7	0,4	21,1	2,2	25,1	4,5
	10	22,8	0,7	33,7	5,2	38,5	7,4
	15	30,0	0,7	43,4	7,8	49,0	9,6
	30	47,8	1,2	63,5	17,6	70,6	14,5
	60	<b>75,0</b>	<b>4,0</b>	<b>98,6</b>	<b>31,4</b>	<b>98,9</b>	<b>20,7</b>



Quadro 4.11 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas com substituição de 10%, aos 28, 90 e 180 dias

Argasmassas	Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]					
		28 dias		90 dias		180 dias	
		Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL_10Mk (m)	5	4,3	0,5	3,5	0,6	5,1	0,2
	10	7,4	0,6	6,2	1,1	9,0	0,3
	15	10,0	0,7	8,6	1,5	12,3	0,2
	30	17,0	1,1	15,1	2,7	21,7	0,4
	60	<b>29,0</b>	<b>1,8</b>	<b>26,5</b>	<b>4,8</b>	<b>36,9</b>	<b>1,5</b>
CL_10Mk (h)	5	3,9	0,1	6,8	2,3	19,0	4,0
	10	6,4	0,3	11,2	3,4	29,7	5,3
	15	8,8	0,2	15,0	4,5	38,2	6,1
	30	13,7	0,8	25,1	7,3	55,8	8,2
	60	<b>21,8</b>	<b>0,9</b>	<b>41,4</b>	<b>12,4</b>	<b>75,1</b>	<b>10,7</b>
CL_10Mk (s)	5	10,7	2,3	7,1	0,5	9,4	1,2
	10	17,6	2,4	9,9	1,1	14,8	1,7
	15	22,3	5,8	13,5	0,9	19,3	1,9
	30	33,9	6,7	23,0	0,4	30,3	3,9
	60	<b>50,8</b>	<b>9,3</b>	<b>38,4</b>	<b>1,1</b>	<b>49,4</b>	<b>4,5</b>

Quadro 4.12 – Médias e desvios padrão dos valores de quantidade de água absorvida das argamassas com substituição de 20%, aos 28, 90 e 180 dias

Argasmassas	Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]					
		28 dias		90 dias		180 dias	
		Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL_20Mk (m)	5	6,0	0,7	2,6	0,4	3,1	0,6
	10	9,2	1,0	4,2	0,6	5,2	0,9
	15	11,6	1,2	5,7	0,7	6,8	1,2
	30	17,8	1,4	9,5	1,2	11,1	1,7
	60	<b>28,0</b>	<b>1,5</b>	<b>16,1</b>	<b>2,0</b>	<b>18,9</b>	<b>2,7</b>
CL_20Mk (h)	5	1,9	0,1	2,5	0,7	2,5	0,2
	10	3,2	0,2	4,2	1,1	5,1	0,9
	15	4,2	0,3	5,7	1,5	6,9	1,2
	30	6,9	0,5	9,7	2,3	12,5	2,3
	60	<b>11,4</b>	<b>1,1</b>	<b>16,4</b>	<b>3,6</b>	<b>21,5</b>	<b>2,7</b>
CL_20Mk (s)	5	8,4	2,9	5,1	0,5	7,0	0,5
	10	12,6	3,6	8,1	0,6	11,2	0,4
	15	16,4	4,5	10,8	0,5	14,9	0,3
	30	26,3	6,8	17,9	1,0	24,1	3,8
	60	<b>41,7</b>	<b>7,8</b>	<b>30,2</b>	<b>1,8</b>	<b>33,9</b>	<b>1,1</b>

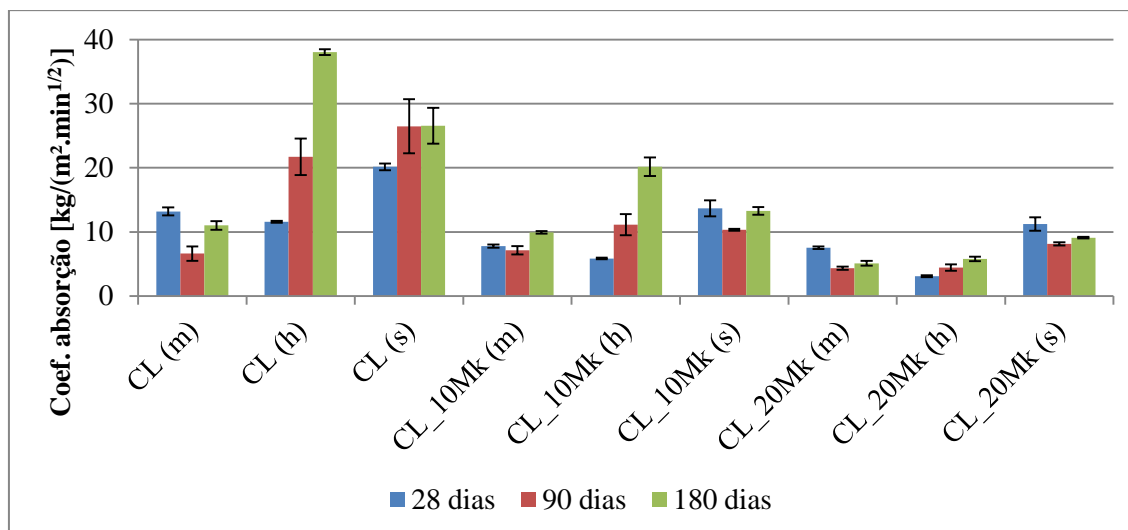


Figura 4.6 – Coeficiente de absorção de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

- **28 dias**

Relacionando a Figura 4.7 e a Figura 4.8 observa-se que a argamassa CL\_20Mk (h) é, não só a que absorve a menor quantidade de água qualquer que seja o instante, mas também a que precisa de mais tempo para absorver os primeiros 4 ml de água. Por oposição, a argamassa CL (s) é a que absorve maior quantidade de água em todos os instantes e é a que precisa de menos tempo para absorver os primeiros 4 ml de água.

As argamassas de cura marítima acabam por revelar, no final do ensaio, a mesma tendência de diminuição da quantidade de água absorvida com aumento da quantidade de metacaulino na argamassa das outras curas, apesar de isso não acontecer para os outros instantes registados.

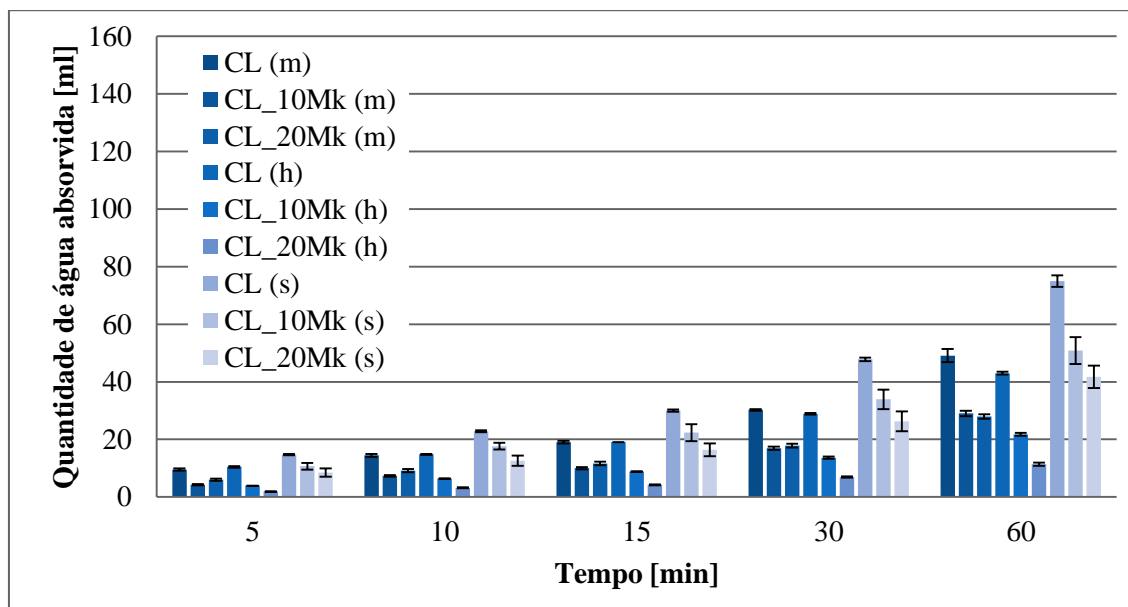


Figura 4.7 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 28 dias

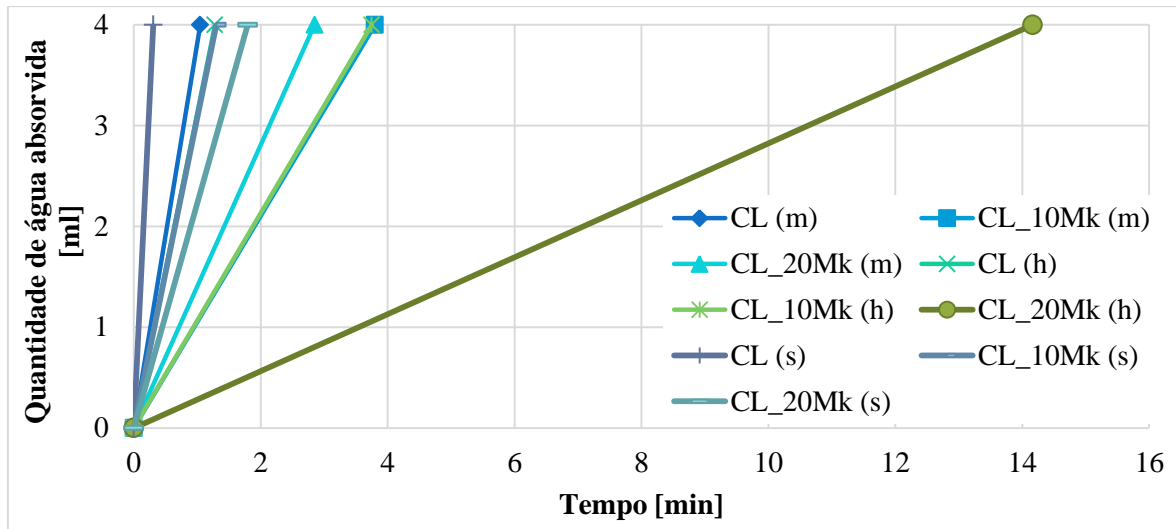


Figura 4.8 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 28 dias

- **90 dias**

Relacionando a Figura 4.9 e a Figura 4.10 observa-se que a argamassa CL\_20Mk (h) é a que precisa de mais tempo para absorver os primeiros 4 ml de água mas apenas é a que absorve a menor quantidade de água no primeiro instante registrado; no entanto, a argamassa que acaba por absorver menor quantidade de água é a CL\_20Mk (m). Nesta idade, a argamassa CL (s) mantém-se como a que absorve maior quantidade de água em todos os instantes e é a que precisa de menos tempo para absorver os primeiros 4 ml de água.

As argamassas de cura marítima, ao contrário dos 28 dias, começam por mostrar a mesma tendência das outras curas de diminuição da quantidade de água absorvida com aumento da quantidade de metacaulino na argamassa, mas acaba por se alterar e não revelar os mesmos resultados.

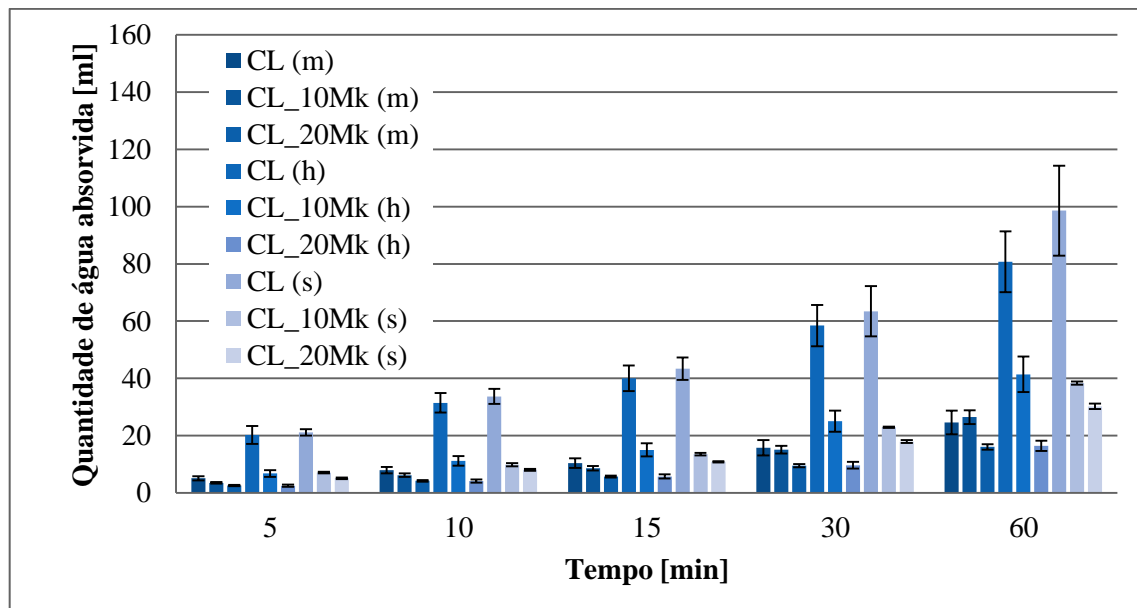


Figura 4.9 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 90 dias

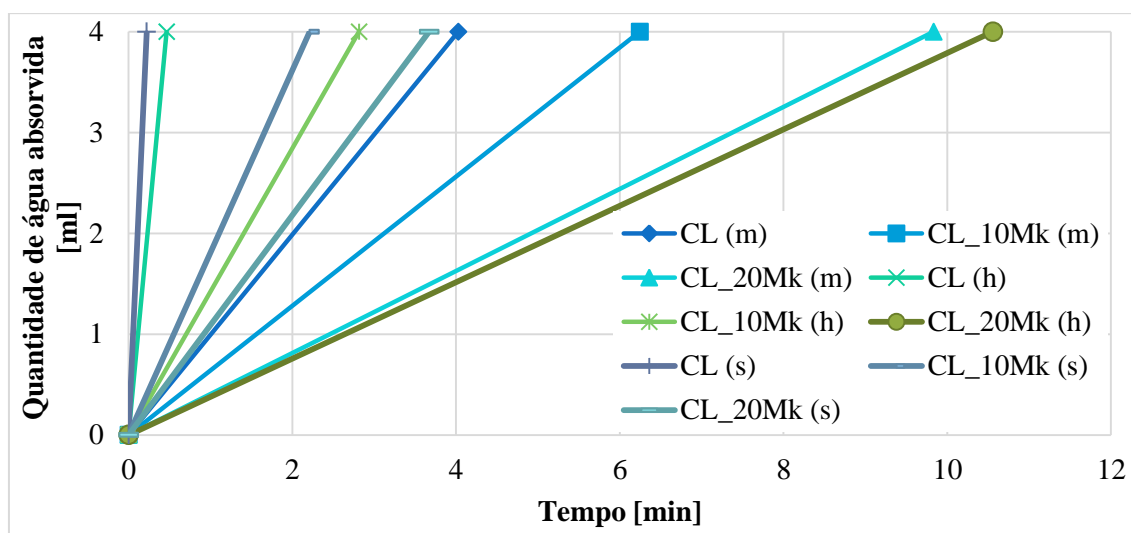


Figura 4.10 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 90 dias

- 180 dias

Relacionando a Figura 4.11 e a Figura 4.12 observa-se que a argamassa CL\_20Mk (h) se mantém como aquela que precisa de mais tempo para absorver os primeiros 4 ml de água mas a que absorve a menor quantidade de água a partir dos 15 minutos volta a ser a CL\_20Mk (m). Ao contrário das outras idades, a argamassa CL (h) passa a ser a que absorve maior quantidade de água em todos os instantes e é a que precisa de menos tempo para absorver os primeiros 4 ml de água.

As argamassas de cura marítima levam à mesma conclusão das outras curas, isto é, existe uma diminuição da quantidade de água absorvida com aumento da quantidade de metacaulino.

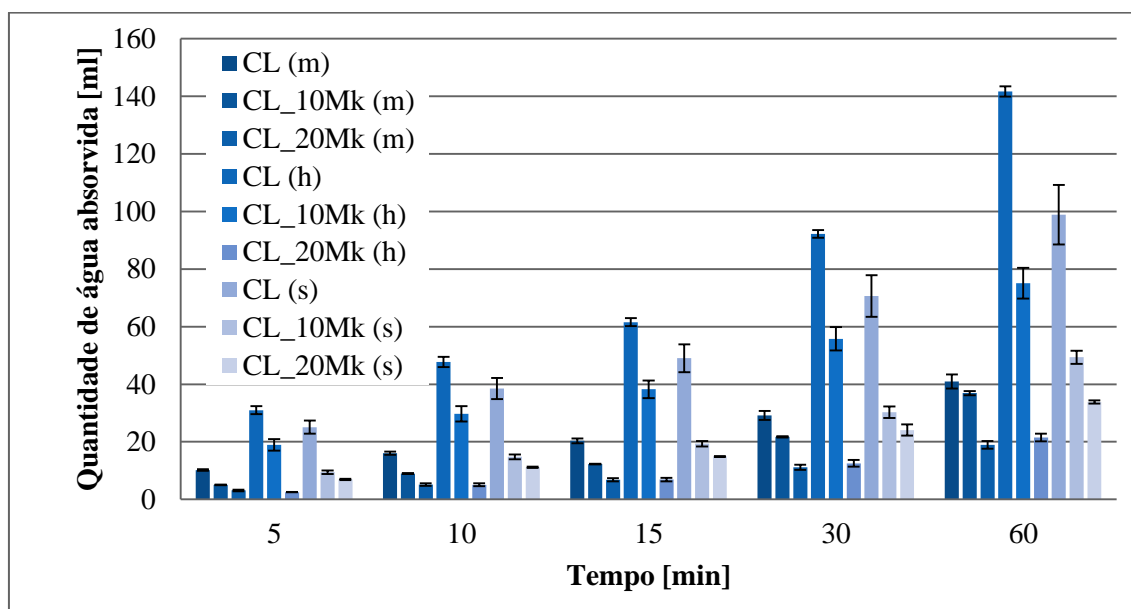


Figura 4.11 – Quantidade de água absorvida por todas as argamassas aos 180 dias

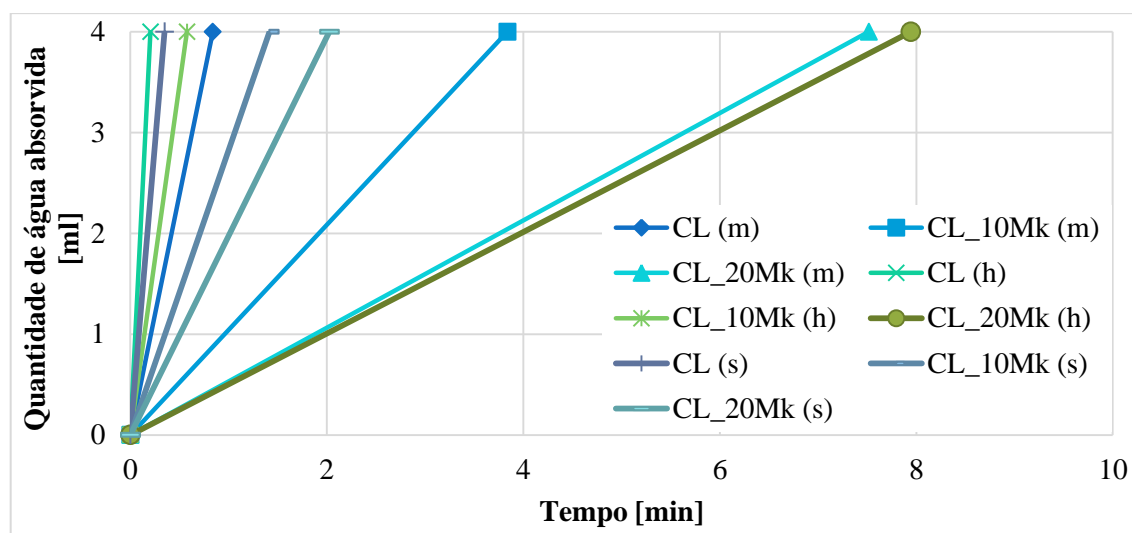


Figura 4.12 – Tempo de absorção de 4 ml de água por todas as argamassas aos 180 dias

Neste ensaio não foram contabilizados os valores dos tubos nos quais houve anomalias ou que resultaram em valores díspares dos dois restantes do seu conjunto. A anomalia ocorrida que levou a que não fossem contabilizados no ensaio os valores dos tubos foi a escorrência de água, contínua, na superfície da argamassa CL (s) no tubo 2 aos 28 dias e no tubo 1 aos 90 dias. Para o caso de ocorrências pontuais, em que não se verificava alteração substancial dos valores, como a formação de gota na superfície do provete, na zona acima do tubo 2 da argamassa CL\_20Mk (s) aos 28 dias, que originou escorrência, os resultados foram contabilizados.

Ao comparar estes valores de absorção com o valor obtido no caso do suporte conclui-se que absorção do suporte vai de 1,8% do valor de absorção da argamassa, para o caso de CL (h) aos 180 dias, até 22,5%, no caso de CL\_20Mk (h) aos 28 dias.

#### 4.4.1.5 Coesão superficial

A Figura 4.13 e a Figura 4.14 mostram os arrancamentos de argamassa CL (h) em provetes em suporte de tijolo aos 90 e 180 dias, respectivamente.

Não existindo registo fotográfico do ensaio aos 28 dias, refere-se apenas que o arrancamento em todas as argamassas sem metacaulino foi idêntico ao retratado na Figura 4.13, ou seja, com a área da plasticina em contacto com a argamassa preenchida e com um destacamento pontual na zona superior, zona onde o arrancamento teve início.



Figura 4.13 – Arrancamento na argamassa CL (h) aos 90 dias

Aos 180 dias deixou de haver o preenchimento total da plasticina em contacto com a argamassa, revelando a esta idade alguma resistência superficial.



Figura 4.14 – Arrancamento na argamassa CL (h) aos 180 dias

Interessa também referir que a diferença cromática nas plasticinas deve-se simplesmente ao facto de facilitar a observação, mantendo todas as outras características.

#### 4.4.2. Provetes prismáticos

##### 4.4.2.1 Condutibilidade térmica

A média dos valores de condutibilidade térmica nos provetes e os seus desvios padrão, aos 28, 90 e 180 dias encontram-se no Quadro 4.13. Na Figura 4.15 é possível acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Através da Figura 4.15 pode observar-se que as condutibilidades térmicas das argamassas possuem os valores mais elevados para os 28 dias, havendo uma queda dos valores ao longo do tempo, mostrando um movimento decrescente evidente. Tal situação pode ter parte da justificação no mais elevado teor de humidade presente nos provetes aos 28 dias.

Quadro 4.13 – Médias e desvios padrão dos valores de condutibilidade térmica em provetes prismáticos

Argamassa	$\lambda$ [w/(m.K)]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL (m)	0,761	0,023	0,723	0,034	0,714	0,020
CL (h)	0,914	0,092	0,766	0,018	0,727	0,080
CL (s)	0,923	0,010	0,736	0,046	0,719	0,012
CL_10Mk (m)	0,721	0,018	0,702	0,022	0,699	0,024
CL_10Mk (h)	0,801	0,027	0,744	0,012	0,712	0,016
CL_10Mk (s)	0,870	0,004	0,710	0,011	0,705	0,011
CL_20Mk (m)	0,710	0,022	0,691	0,013	0,684	0,013
CL_20Mk (h)	0,732	0,066	0,723	0,017	0,696	0,058
CL_20Mk (s)	0,702	0,016	0,696	0,007	0,695	0,011

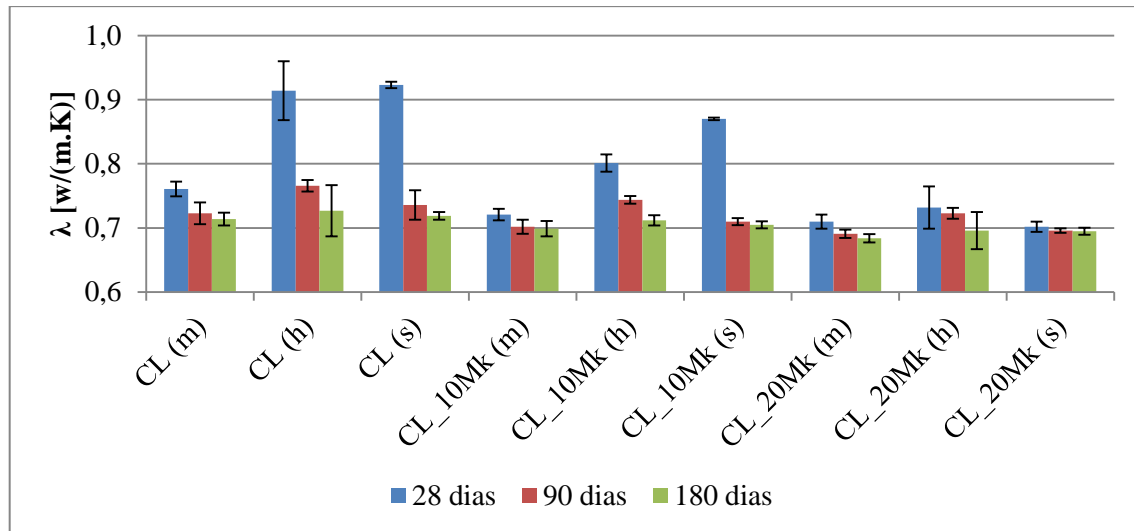


Figura 4.15 – Condutibilidade térmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias, em provetes prismáticos

#### 4.4.2.2 Massa volúmica

A média dos valores de massa volúmica dos provetes e os seus desvios padrão, aos 28, 90 e 180 dias encontram-se no Quadro 4.14. Na Figura 4.16 é possível acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Estas massas volúmicas foram determinadas através de medições pontuais, o que indicia, desde logo, a falta de rigor deste ensaio. A irregularidade acentuada de uma das faces e a degradação dos vértices são factores demonstrativos dos erros do ensaio; ainda assim, estes valores são indicativos das variações das massas volúmicas dos provetes ao longo do processo de cura.

Quadro 4.14 – Médias e desvios padrão dos valores de massa volúmica

Argamassa	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL (m)	1700	27	1696	15	1690	17
CL (h)	1752	33	1686	10	1677	9
CL (s)	1659	9	1709	4	1692	4
CL_10Mk (m)	1711	12	1729	14	1730	7
CL_10Mk (h)	1740	15	1700	8	1712	10
CL_10Mk (s)	1683	23	1717	17	1716	4
CL_20Mk (m)	1716	12	1707	18	1709	11
CL_20Mk (h)	1754	8	1697	35	1708	38
CL_20Mk (s)	1704	10	1718	14	1725	17

Através da Figura 4.16 pode observar-se que a argamassa CL (h) chega a atingir o valor mais elevado de massa volúmica aos 28 dias e tem o valor mais baixo aos 180 dias. Em termos de tendência, apenas se pode afirmar que dos 28 para os 180 dias as argamassas de cura húmida diminuem e as argamassas de cura standard aumentam os seus valores.

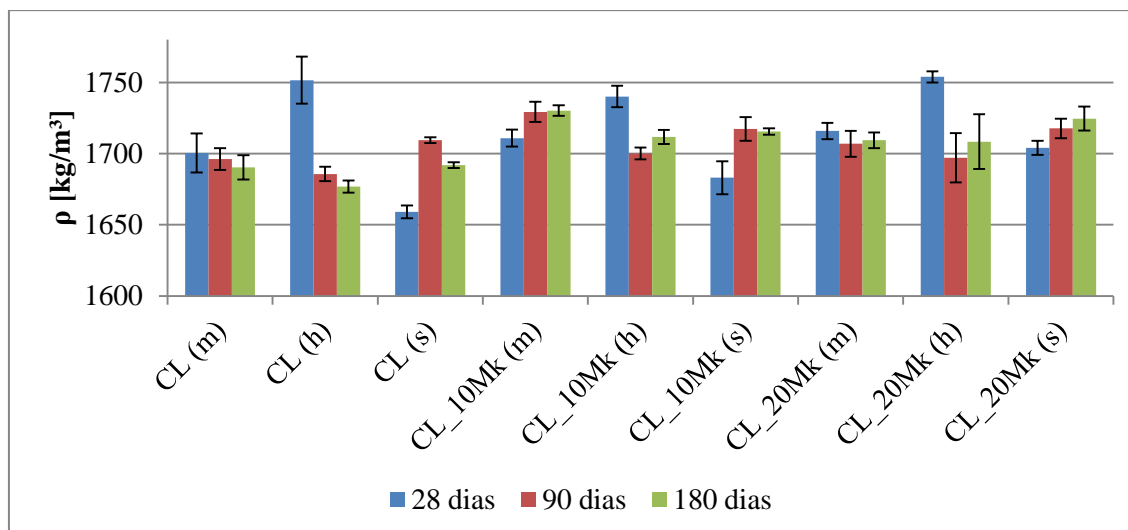


Figura 4.16 – Massa volúmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

#### 4.4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

O Quadro 4.15 contém as médias dos valores obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Na Figura 4.17 pode-se acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Quadro 4.15 – Médias e desvios padrão dos valores do módulo de elasticidade dinâmico

Argamassas	Edin [Mpa]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	2153	78	2969	36	2924	161
CL_10Mk (m)	1672	132	2212	118	1633	165
CL_20Mk (m)	3367	160	2748	145	2982	213
CL (h)	615	36	2003	67	2376	95
CL_10Mk (h)	1262	63	1367	60	1255	34
CL_20Mk (h)	3997	166	2497	63	2366	125
CL (s)	2182	83	2610	14	2650	72
CL_10Mk (s)	1392	27	1768	138	1723	132
CL_20Mk (s)	4945	86	3710	253	3607	307

Uma apreciação global permite afirmar que há um aumento do módulo de elasticidade dos 28 para os 90 dias nas argamassas com 0% e 10% de substituição de metacaulino, enquanto que para as argamassas com 20% é precisamente entre essas idades que se dá a maior queda desses mesmos valores. De uma forma geral, as argamassas CL\_20Mk originam os valores mais elevados em cada tipo de cura, sendo os valores desta argamassa em cura standard, os mais elevados a todas as idades.



Nas argamassas CL\_10Mk observam-se os valores mais elevados aos 90 dias e nas CL\_20Mk aos 28 dias, enquanto que nas CL há uma tendência crescente ao longo das idades, que é apenas ligeiramente contrariada para a cura marítima.

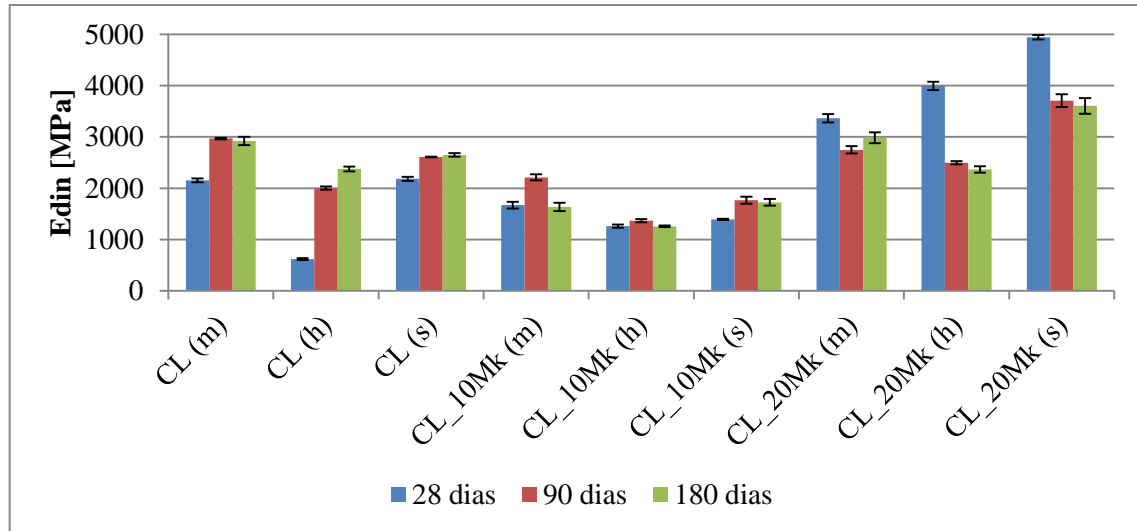


Figura 4.17 – Módulo de elasticidade dinâmica de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

Na Figura 4.18, na Figura 4.19 e na Figura 4.20 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados. Os valores de referência são os das argamassas sem metacaulino.

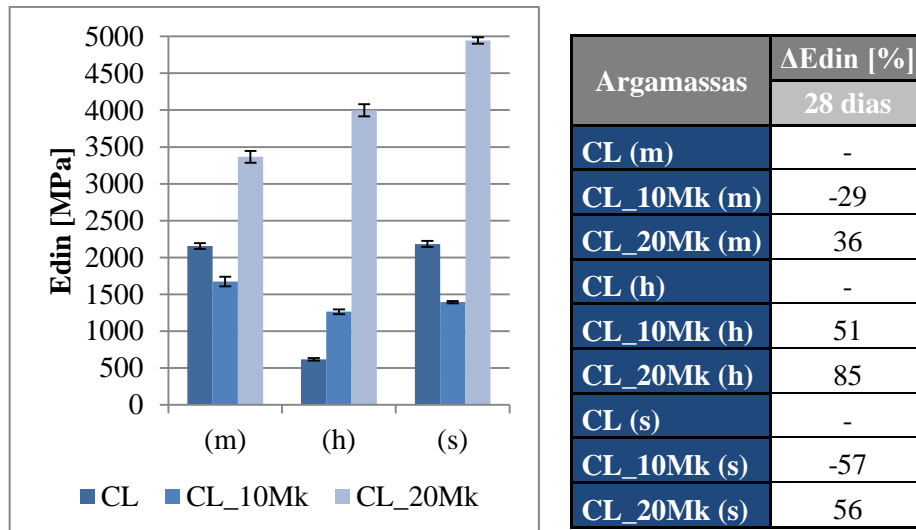


Figura 4.18 – Módulo de elasticidade dinâmica e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias

A cura standard apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura húmida a média mais baixa.

- **28 dias**

Aos 28 dias verificou-se, para as curas marítima e standard, valores inferiores na argamassa CL\_10Mk e superiores na CL\_20Mk; para a cura húmida registou-se um aumento dos valores com

o teor de metacaulino. Denota-se uma tendência crescente das argamassas CL\_20Mk, ao longo das curas.

- **90 dias**

Aos 90 dias verificou-se, para a cura marítima, um decréscimo do valor das duas argamassas, sendo esta mais acentuado na CL\_10Mk do que na CL\_20Mk; para as curas húmida e standard, registou-se um decréscimo do valor na argamassa CL\_10Mk e um aumento na argamassa CL\_20Mk.

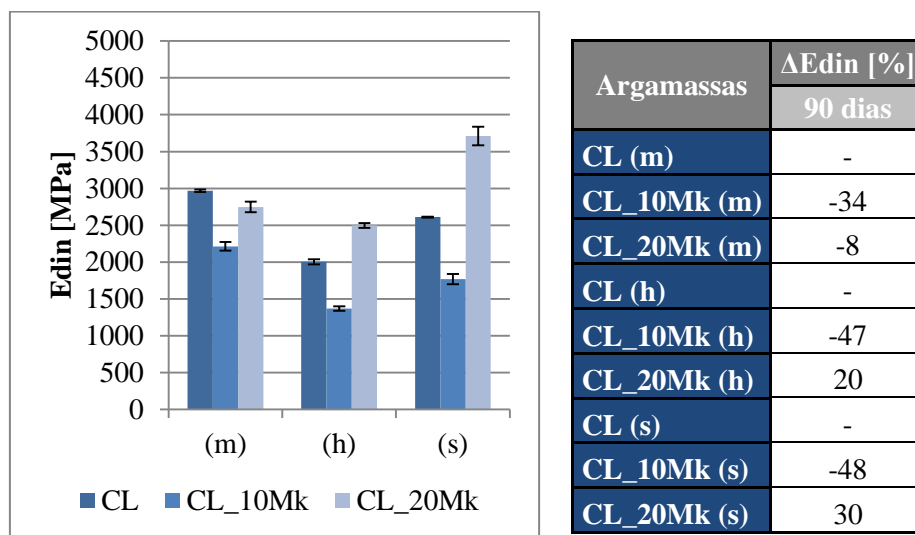


Figura 4.19 – Módulo de elasticidade dinâmico e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias

- **180 dias**

Aos 180 dias verificou-se, para as curas marítima e húmida, que a argamassa CL\_10Mk apresenta um valor inferior, enquanto a argamassa CL\_20Mk apresenta um valor semelhante à argamassa referência; para a cura standard registou-se um decréscimo do valor na argamassa CL\_10Mk e um incremento significativo na argamassa CL\_20Mk.

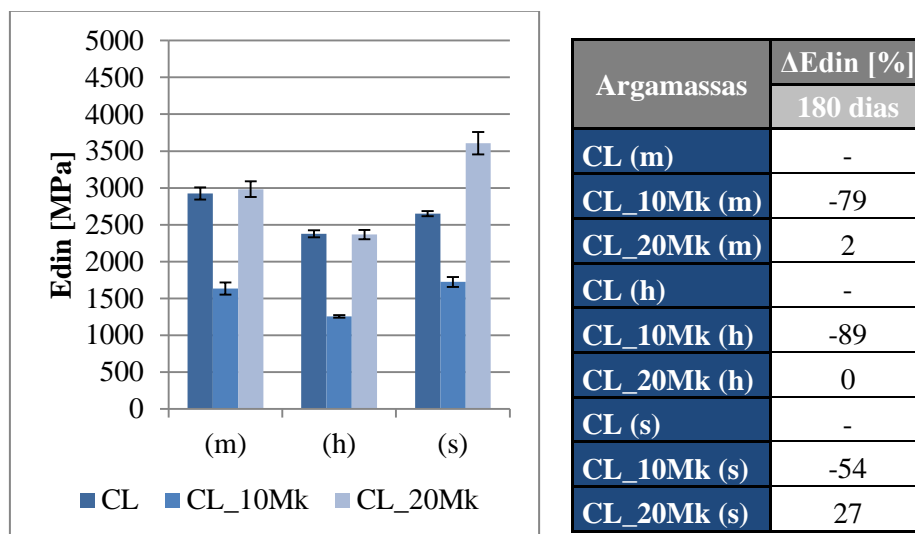


Figura 4.20 – Módulo de elasticidade dinâmico e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias

#### 4.4.2.4 Resistência à tracção

O Quadro 4.16 contém as médias dos valores obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Através da Figura 4.21 pode-se acompanhar a evolução das argamassas nas diferentes condições de cura, com as idades. Na Figura 4.22, na Figura 4.23 e na Figura 4.24 estão representadas as médias dos valores de resistência à tracção de cada um dos grupos de três provetes, a cada um dos instantes medidos - aos 28, 90 e 180 dias, respectivamente.

Quadro 4.16 – Médias e desvios padrão dos valores de resistência à tracção

Argamassas	Rt [MPa]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	0,24	0,03	0,29	0,01	0,25	0,02
CL_10Mk (m)	0,20	0,02	0,25	0,04	0,13	0,02
CL_20Mk (m)	0,35	0,04	0,43	0,03	0,35	0,03
CL (h)	0,06	0,00	0,24	0,03	0,27	0,02
CL_10Mk (h)	0,12	0,01	0,16	0,03	0,13	0,01
CL_20Mk (h)	0,48	0,07	0,39	0,02	0,35	0,02
CL (s)	0,24	0,03	0,36	0,01	0,26	0,00
CL_10Mk (s)	0,18	0,02	0,21	0,02	0,20	0,03
CL_20Mk (s)	0,63	0,07	0,65	0,01	0,57	0,09

Através da Figura 4.21, pode observar-se que a argamassa CL\_20Mk (s) possui o valor mais elevado de resistência à tracção a todas as idades, a argamassa CL (h) tem o valor mais baixo aos 28 dias e a CL\_10Mk (h) nos tempos de cura restantes.

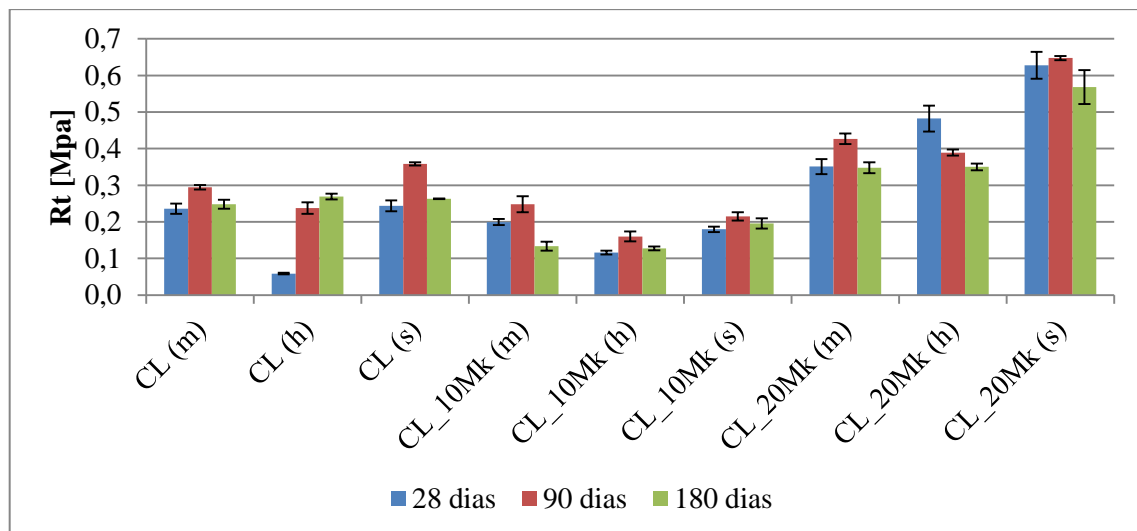


Figura 4.21 – Resistência à tracção de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

É também possível visualizar-se, nas argamassas de cura marítima e standard, que os valores aumentam dos 28 para os 90 dias e decrescem dos 90 para os 180 dias; já no que diz respeito à cura húmida, a tendência referida só se verifica para argamassa CL\_10Mk.

A cura standard apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura húmida a média mais baixa aos 28 e 90 dias.

A Figura 4.22, a Figura 4.23 e a Figura 4.24 servem para observar a evolução dos valores de resistência à tracção das argamassas em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, às três idades de ensaio individual. A comparação é efectuada tendo com referência a argamassa sem metacaulino em cada cura.

#### • 28 dias

Analisando a Figura 4.22 retira-se que as argamassas das curas marítima e standard perdem resistência à tracção com a adição de 10% de metacaulino e ganham resistência quando a adição passa a 20%. Para o caso das argamassas de cura húmida, a resistência à tracção cresce com o aumento da quantidade de metacaulino. Está patente uma tendência crescente das argamassas CL\_20Mk ao longo das curas. Nesta idade, a diferença de valores entre as argamassas de cura húmida demonstra a hidraulicidade conferida pelo metacaulino, uma vez que a resistência da argamassa de referência corresponde a metade da CL\_10Mk e apenas a 12% da CL\_20Mk.

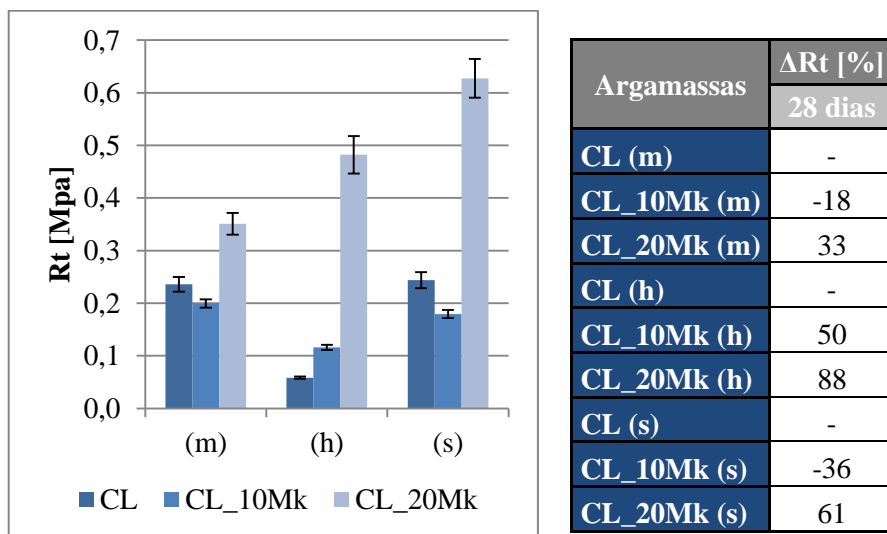


Figura 4.22 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias

#### • 90 dias

Observando a Figura 4.23 é notório, que, a esta idade e, que em relação à argamassa de referência, todas as curas pendem para a perda de resistência à tracção, quando a substituição é de 10%, e para o ganho de resistência quando o valor da substituição se eleva aos 20% de metacaulino. É igualmente visível que a cura húmida possui os valores mais de cada argamassa.

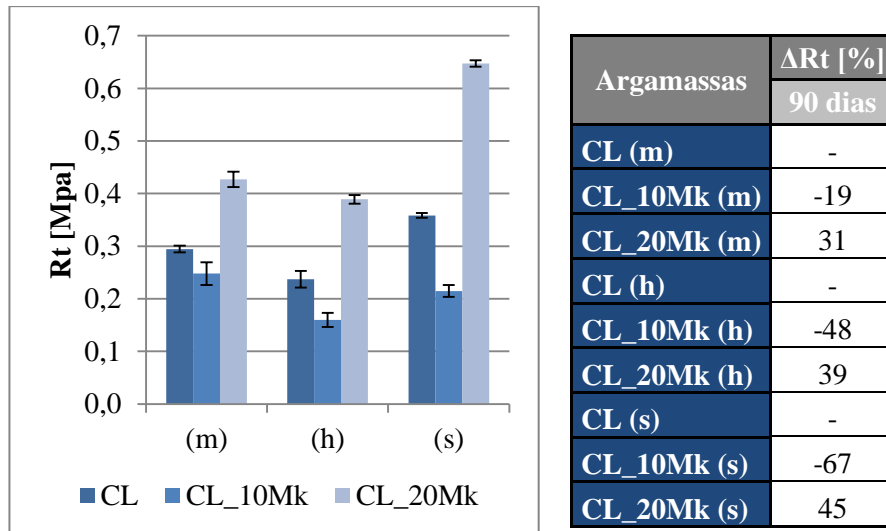


Figura 4.23 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias

- **180 dias**

Pela Figura 4.24 conclui-se que aos 180 dias a tendência é idêntica à dos 90 dias mas com perda de resistência à tracção entre estas idades para todas argamassas das diferentes curas, com a única excepção da CL (h). É nesta idade que se verifica a maior perda de resistência em relação à argamassa de referência, que se dá no caso da CL\_10Mk (h), onde ocorre uma perda de mais de metade do seu valor.

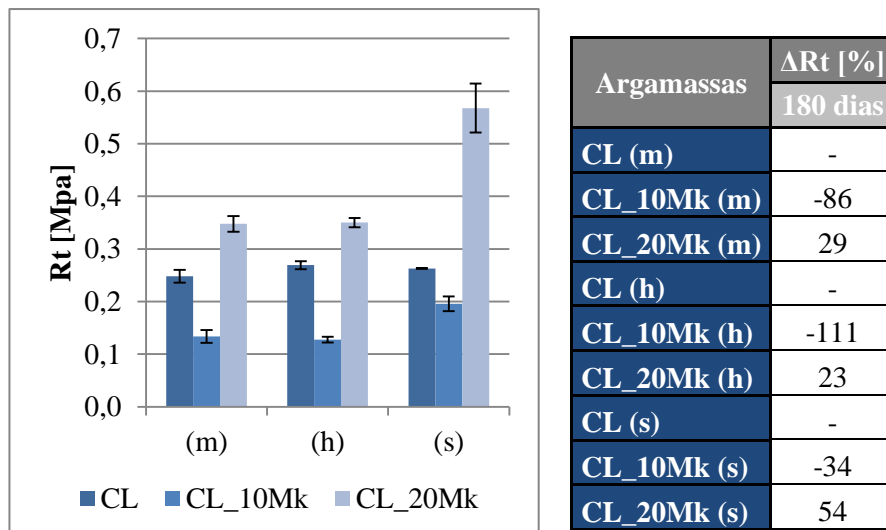


Figura 4.24 – Resistência à tracção e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias

#### 4.4.2.5 Carbonatação

Através da Figura 4.25, da Figura 4.26 e da Figura 4.27, pode-se constatar que a carbonatação nas argamassas sem metacaulino das curas marítima e húmida é bastante inferior à que se pode observar nas outras argamassas. Quando se compara CL\_10Mk com CL\_20Mk não é possível verificar diferenças significativas. No que se refere à comparação de curas é viável dizer-se que no caso das argamassas com metacaulino, a maior profundidade de carbonatação dá-se na cura stan-

dard e a menor na cura húmida; no entanto é provável que a reacção pozolânica possa provocar alterações de pH, que mascarem os resultados dos ensaios (Faria, 2004). Já no caso das argamassas CL, a menor profundidade de carbonatação, chegando mesmo a não se verificar à superfície, acontece na cura húmida, ocorrendo a maior na cura standard, estando esta ao nível das argamassas da mesma cura com metacaulino.



Figura 4.25 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL de curas (m), (h) e (s)



Figura 4.26 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL\_10Mk de curas (m), (h) e (s)



Figura 4.27 – Carbonatação nos provetes da argamassa CL\_20Mk de curas (m), (h) e (s)

A realização do ensaio de DRX seria importante para confirmar as observações e aprofundar este ensaio.

#### 4.4.2.6 Resistência à compressão

O Quadro 4.17 contém as médias dos valores de resistência à compressão obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Através da Figura 4.28 pode-se acompanhar a evolução das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades. Na Figura 4.29, na Figura 4.30 e na Figura 4.31 estão representadas as médias dos valores de cada um dos grupos de três provetes, a cada um dos instantes medidos aos - 28, 90 e 180 dias, respectivamente.

Quadro 4.17 – Médias e desvios padrão dos valores de resistência à compressão

Argamassas	Rc [MPa]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	0,32	0,03	0,40	0,02	0,52	0,05
CL_10Mk (m)	0,59	0,04	0,65	0,05	0,49	0,03
CL_20Mk (m)	1,49	0,16	1,31	0,05	0,95	0,17
CL (h)	0,20	0,02	0,41	0,05	0,57	0,04
CL_10Mk (h)	0,41	0,00	0,37	0,06	0,45	0,01
CL_20Mk (h)	1,49	0,04	0,95	0,28	1,04	0,06
CL (s)	0,43	0,02	0,56	0,05	0,64	0,08
CL_10Mk (s)	0,61	0,02	0,70	0,03	0,81	0,06
CL_20Mk (s)	1,99	0,14	2,03	0,10	1,86	0,13

Através da Figura 4.28 pode observar-se que os valores máximos e mínimos continuam a pertencer às mesmas argamassas, ou seja, CL\_20Mk (s) continua a apresentar os valores mais elevados de resistência em todas as idades, a argamassa CL (h) tem o valor mais baixo aos 28 dias e a CL\_10Mk (h) nos tempos de cura restantes. É igualmente visível que nas argamassas CL a resistência à compressão aumenta com as idades de cura e nas CL\_20Mk os valores dos 180 dias são inferiores aos de 28 dias, independentemente da cura.

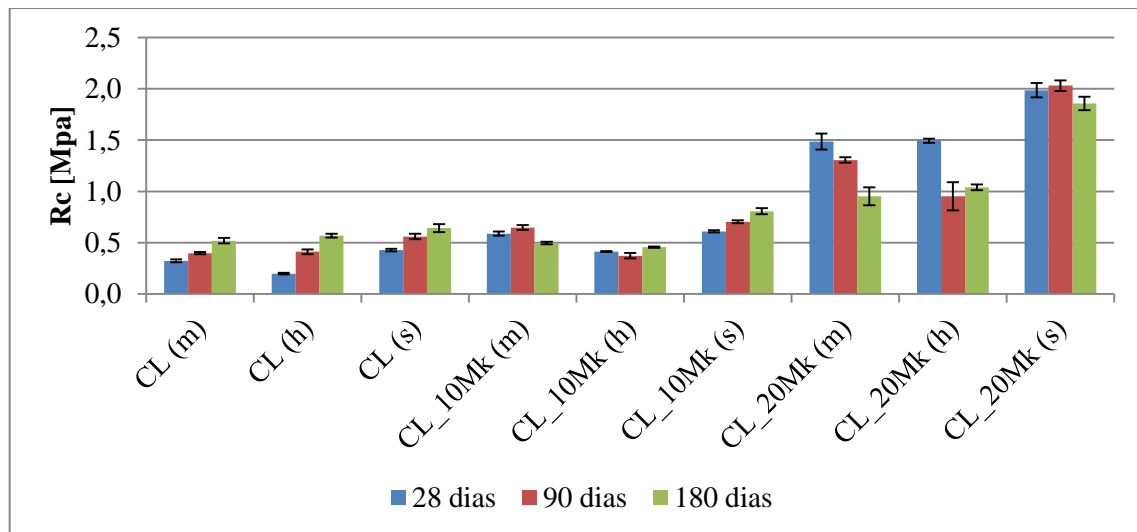


Figura 4.28 – Resistência à compressão de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

A cura standard apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura húmida a média mais baixa aos 28 e 90 dias.

A Figura 4.29, a Figura 4.30 e a Figura 4.31 servem para observar a evolução dos valores de resistência à compressão das argamassas em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, às três idades de ensaio individualmente. A comparação é efectuada tendo como referência a argamassa sem metacaulino em cada cura.



- **28 dias**

A Figura 4.29 mostra que as argamassas, de todas as curas, ganham resistência à compressão com a adição de metacaulino, sendo que o comportamento da cura marítima se assemelha ao da cura standard para o caso das argamassas CL\_10Mk e à cura húmida no caso das CL\_20Mk.

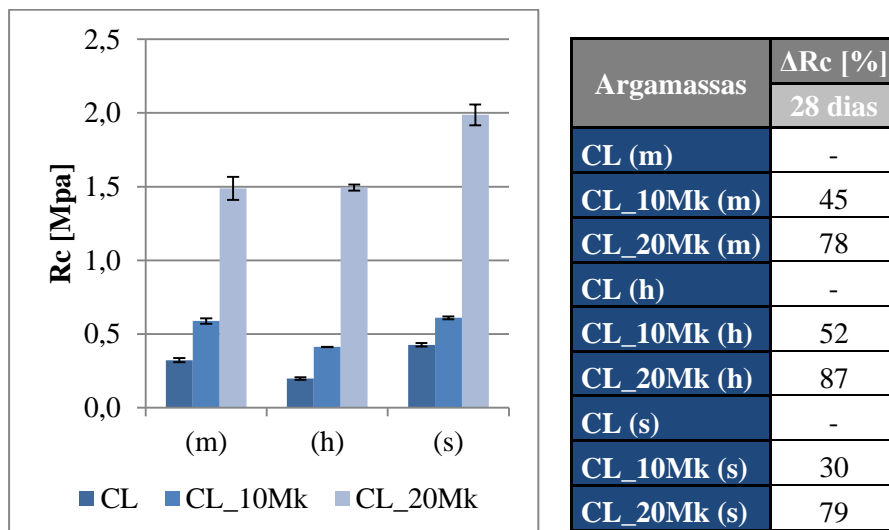


Figura 4.29 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 28 dias

- **90 dias**

Observando a Figura 4.30 percebe-se, em relação as argamassas das curas marítima e standard, que há um aumento da resistência à compressão com o aumento da quantidade de metacaulino, enquanto no caso da cura húmida, as argamassas perdem resistência com a substituição de 10% de metacaulino e ganham resistência quando a percentagem chega aos 20%.

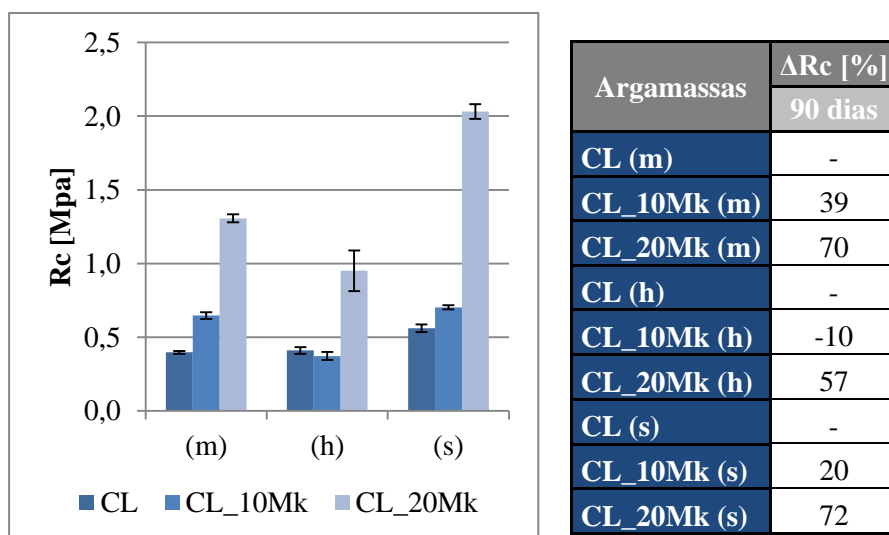


Figura 4.30 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 90 dias



- **180 dias**

A Figura 4.31 revela que, com este tempo de cura, a tendência é idêntica à dos valores de resistência à tracção para os casos das curas marítima e standard, isto é, quando o teor de metacaulino aumenta, a resistência eleva-se. Quando se fala da cura húmida, dá-se a diminuição da resistência à compressão quando o valor de metacaulino é de 10% e há um incremento quando o valor passa a 20%. Aos 180 dias verifica-se a maior perda de resistência em relação à argamassa de referência, que se dá no caso da CL\_10Mk (h), onde ocorre uma perda de um quarto do seu valor.

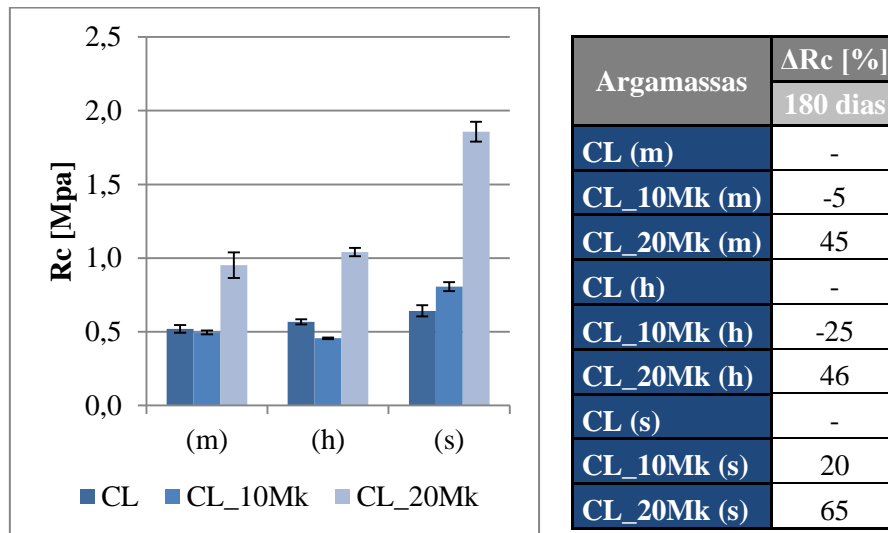


Figura 4.31 – Resistência à compressão e variação relativa à argamassa de referência, de todas as argamassas aos 180 dias

#### 4.4.2.7 Porosidade aberta

O Quadro 4.18 contém as médias dos valores de porosidade aberta obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Na Figura 4.32 pode-se acompanhar a evolução desses valores das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades.

Quadro 4.18 – Médias e desvios padrão dos valores de porosidade aberta

Argamassas	Porosidade aberta [%]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	28,7	0,2	27,6	0,2	25,8	0,2
CL_10Mk (m)	29,4	0,3	29,4	0,3	27,3	0,1
CL_20Mk (m)	30,3	0,2	30,2	0,3	28,8	0,1
CL (h)	28,3	0,2	27,6	0,2	26,8	0,1
CL_10Mk (h)	30,5	0,3	29,4	0,1	28,8	0,2
CL_20Mk (h)	31,1	0,3	30,7	0,2	29,6	0,2
CL (s)	27,8	0,4	26,7	0,2	24,9	0,2
CL_10Mk (s)	30,1	0,2	29,1	0,1	28,0	0,1
CL_20Mk (s)	30,8	0,3	29,8	0,1	28,6	0,1

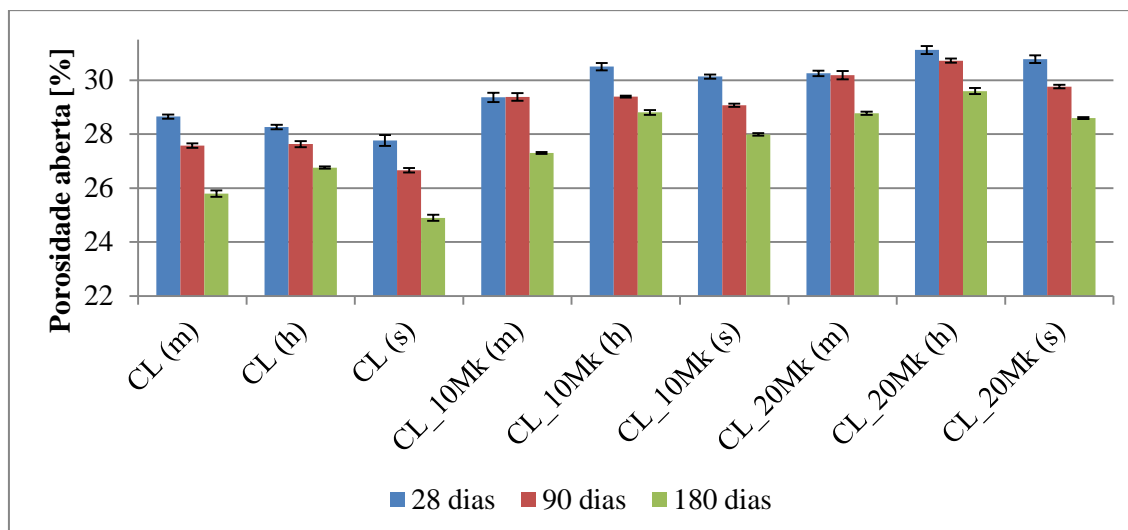


Figura 4.32 – Porosidade aberta de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

A cura húmida apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura standard a média mais baixa aos 90 e 180 dias.

A Figura 4.33, apesar de conter a mesma informação do que a Figura 4.32, tem-na organizada de outra forma, facilitando a análise da influência do metacaulino. Na Figura 4.33 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função da percentagem de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados. Os valores de referência são os das argamassas CL.

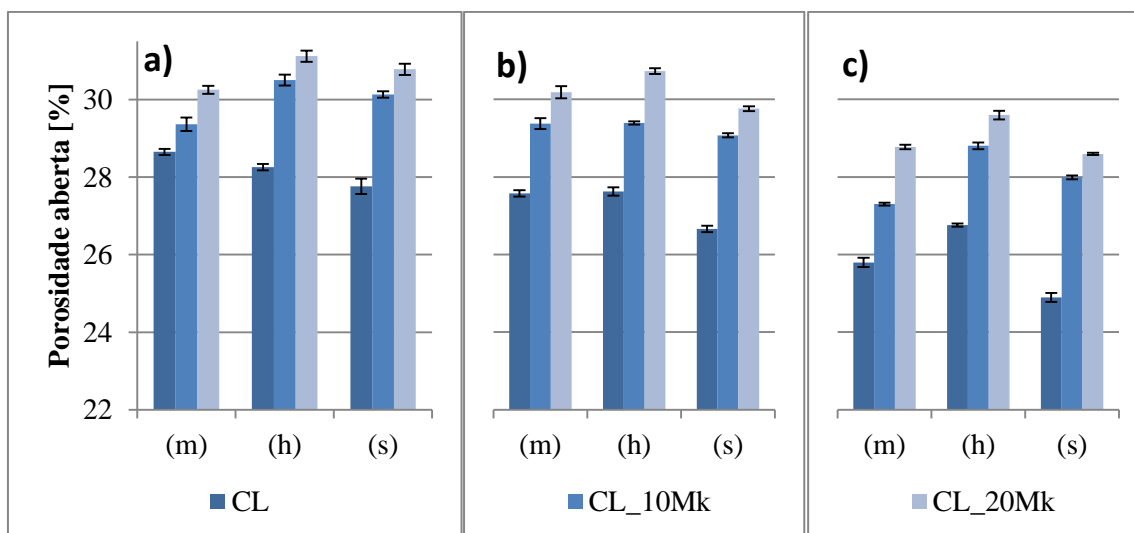


Figura 4.33 – Porosidade aberta de todas as argamassas aos 28 (a), 90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura

Observando a globalidade dos valores obtidos, comprova-se como a variação dos valores é comum quase à totalidade das argamassas em todas as curas, ou seja, diminui ao longo do tempo. A exclusiva exceção ao atrás descrito é a argamassa CL\_10Mk (m) que praticamente mantém os valores dos 28 para os 90 dias. A propensão generalizada dos valores é aumentar com o incremento

de quantidade de metacaulino e o valor máximo observado a qualquer uma das idades ensaiadas verifica-se na argamassa CL\_20Mk (h) e o mais baixo na CL (s).

#### 4.4.2.8 Massa volúmica aparente

No Quadro 4.19 podem ser consultados os valores médios e desvios padrão dos valores de massa volúmica aparente de todas argamassas em todas as curas aos 28, 90 e 180 dias. A Figura 4.34 regista a evolução dos valores com o decorrer da idade.

Quadro 4.19 – Médias e desvios padrão dos valores de massa volúmica aparente

Argamassas	Massa Volúmica aparente [kg/m <sup>3</sup> ]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	1665	2	1676	11	1722	4
CL_10Mk (m)	1645	10	1665	3	1704	4
CL_20Mk (m)	1630	9	1635	8	1657	6
CL (h)	1623	6	1652	6	1709	3
CL_10Mk (h)	1615	3	1628	5	1650	7
CL_20Mk (h)	1593	4	1619	10	1635	3
CL (s)	1702	9	1712	9	1789	3
CL_10Mk (s)	1660	4	1672	3	1750	1
CL_20Mk (s)	1642	8	1655	11	1678	11

Uma análise geral da Figura 4.34 permite observar que os valores têm uma evolução crescente, sendo esta mais acentuada dos 90 para os 180 dias, sendo também esta a maior distância temporal.

A cura standard apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura húmida a média mais baixa.

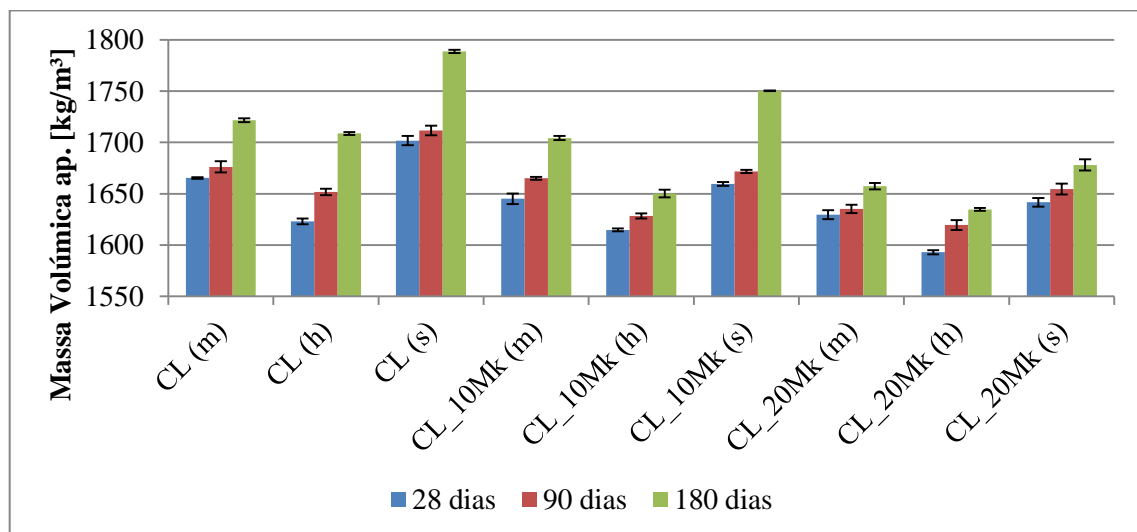


Figura 4.34 – Massa volúmica aparente de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

A Figura 4.35 serve para observar a evolução dos valores de massa volúmica aparente das argamassas endurecidas em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, às três idades de ensaio individualmente. Os valores de referência são os das argamassas sem metacaulino em cada cura.

A tendência é transversal a todas as argamassas, isto é, apresentam valores decrescentes de massa volúmica com o aumento do teor de metacaulino, encontrando-se os valores mais elevados de cada argamassas na cura standard a todas as idades.

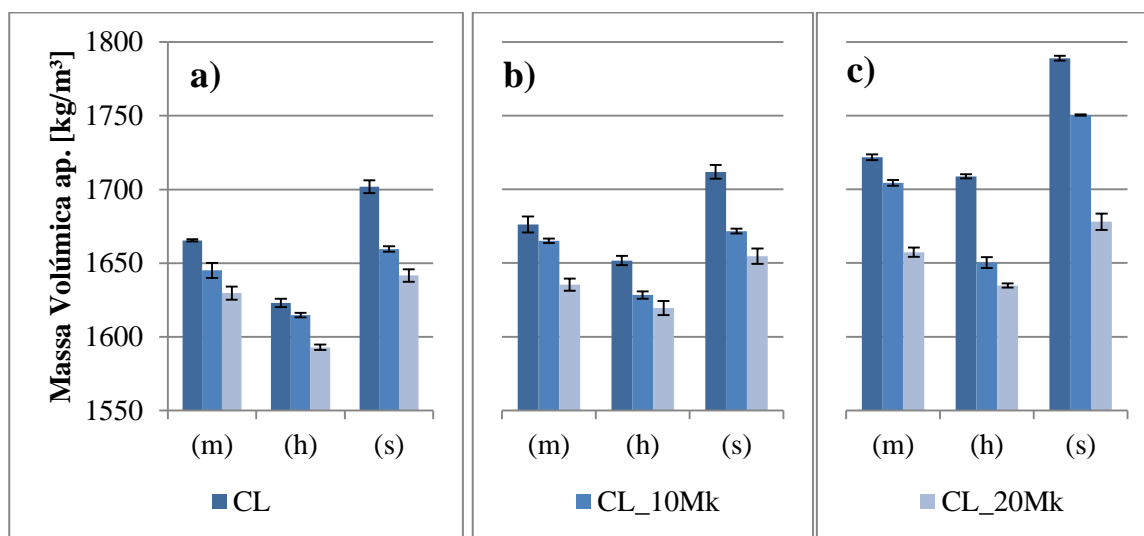


Figura 4.35 – Massa volúmica aparente de todas as argamassas aos 28 (a), 90 (b) e 180 (c) dias, agrupado por idade e cura

A Figura 4.35, apesar de conter a mesma informação do que a Figura 4.34, tem-na organizada de outra forma, facilitando a análise da influência do metacaulino.

#### 4.4.2.9 Absorção de água por capilaridade

O Quadro 4.20 contém as médias dos valores do valor assintótico e do coeficiente de capilaridade obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Na Figura 4.36 e na Figura 4.37, respectivamente, pode acompanhar-se a evolução desses valores das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades. Na Figura 4.39, na Figura 4.41 e na Figura 4.43 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função da percentagem de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados.

Quadro 4.20 – Médias e desvios padrão dos valores do valor assintótico e do coeficiente de capilaridade

Argamassas	Valor Assintótico [kg/m²]						Coef. Capilaridade [kg/(m²·min <sup>1/2</sup> )]					
	28 dias		90 dias		180 dias		28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
CL (m)	20,4	0,7	19,7	1,5	20,3	2,0	4,5	0,0	4,7	0,3	4,4	0,5
CL_10Mk (m)	23,4	0,7	23,7	3,1	24,2	1,4	3,6	0,2	4,2	0,2	4,4	0,1
CL_20Mk (m)	24,0	0,1	24,4	4,0	23,7	2,1	3,2	0,1	3,4	0,2	3,4	0,1

<b>CL (h)</b>	20,2	0,5	20,6	0,6	20,4	0,9	3,8	0,3	4,5	0,3	4,1	0,3
<b>CL_10Mk (h)</b>	23,7	2,1	22,6	1,2	23,6	1,1	3,6	0,2	3,8	0,2	3,8	0,4
<b>CL_20Mk (h)</b>	23,6	0,6	23,1	2,0	24,2	2,0	3,1	0,3	3,1	0,1	3,2	0,1
<b>CL (s)</b>	20,3	1,2	19,8	0,6	20,1	0,5	4,6	0,1	4,4	0,1	4,0	0,3
<b>CL_10Mk (s)</b>	21,6	1,8	23,0	1,4	22,6	0,5	4,0	0,2	4,0	0,1	4,0	0,2
<b>CL_20Mk (s)</b>	22,4	0,4	22,2	3,0	23,1	3,3	3,5	0,0	3,3	0,0	3,1	0,0

Examinando a Figura 4.36 e a Figura 4.37, atenta-se como os valores mais baixos de valor assintótico acontecem nas argamassas CL e de coeficiente de capilaridade pertencem às CL\_20Mk. No caso do coeficiente de capilaridade é igualmente visível a evolução decrescente dos valores com o aumento da quantidade de metacaulino inserido nas argamassas.

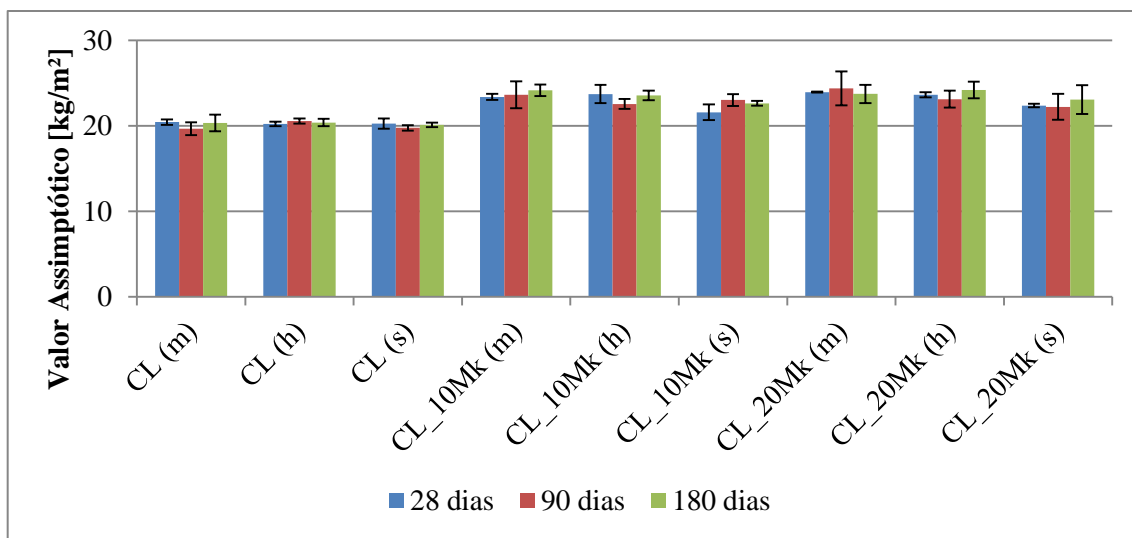


Figura 4.36 – Valor assintótico de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

Nos resultados de valor assintótico, a cura marítima apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura standard a média mais baixa.

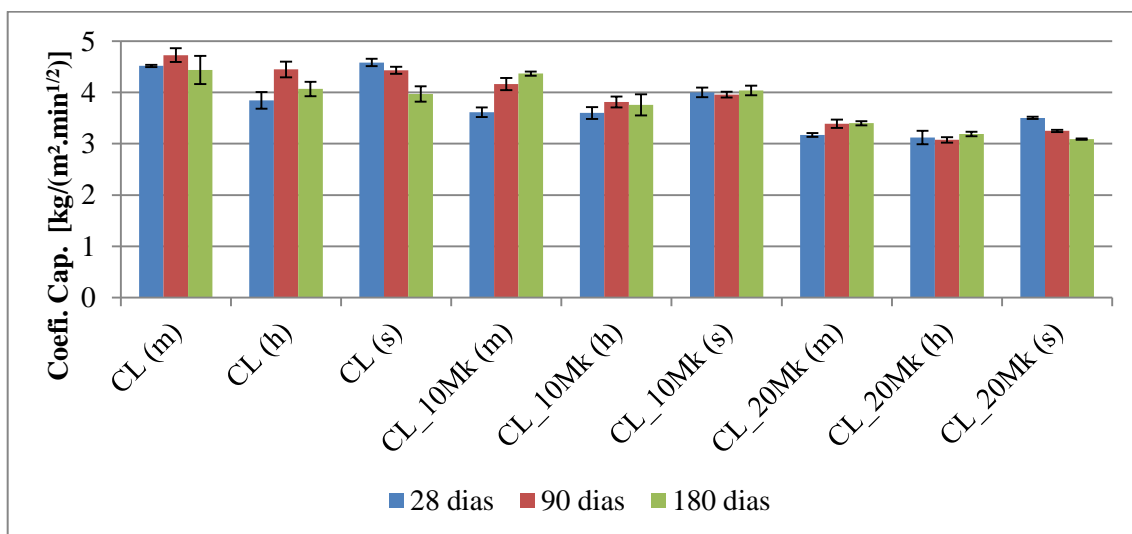


Figura 4.37 – Coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

Nos resultados de coeficiente de capilaridade, a cura marítima apresentou a média de valores mais elevada aos 90 e 180 dias e a cura húmida a média mais baixa a todas as idades.

Na Figura 4.39, na Figura 4.41 e na Figura 4.43 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados. Os valores de referência são os das argamassas sem metacaulino.

- **28 dias**

Na Figura 4.38 exibem-se as curvas de absorção capilar de todas as argamassas na fase inicial, para que melhor se possa ver o desenvolvimento da absorção de água. É visível a maior inclinação das rectas representativas das argamassas CL (s) e (m), nos primeiros minutos de ensaio, correspondentes a uma maior velocidade de absorção, mas que acabam também por originar os valores mais baixos de absorção, após o início da estabilização. Nos casos de CL\_20Mk (h) e (m), dá-se exactamente o oposto, ou seja, apresentam uma absorção mais lenta mas superior em valor absoluto.

A Figura 4.39 mostra que a tendência do valor assintótico é inversa à do coeficiente de capilaridade, isto é, enquanto o valor assintótico aumenta com a quantidade de metacaulino, o coeficiente de capilaridade diminui.

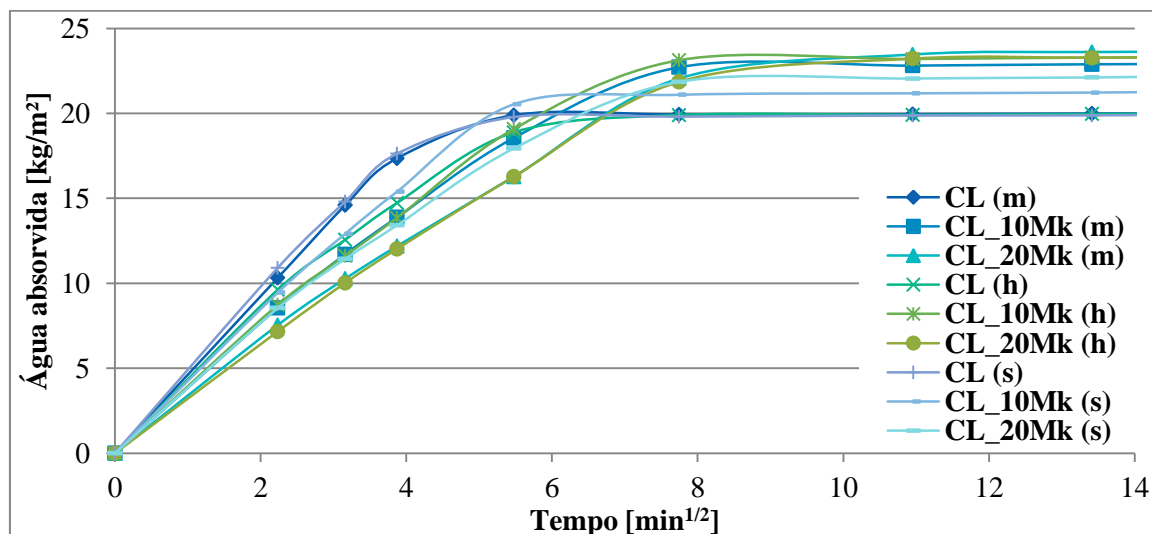


Figura 4.38 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 28 dias

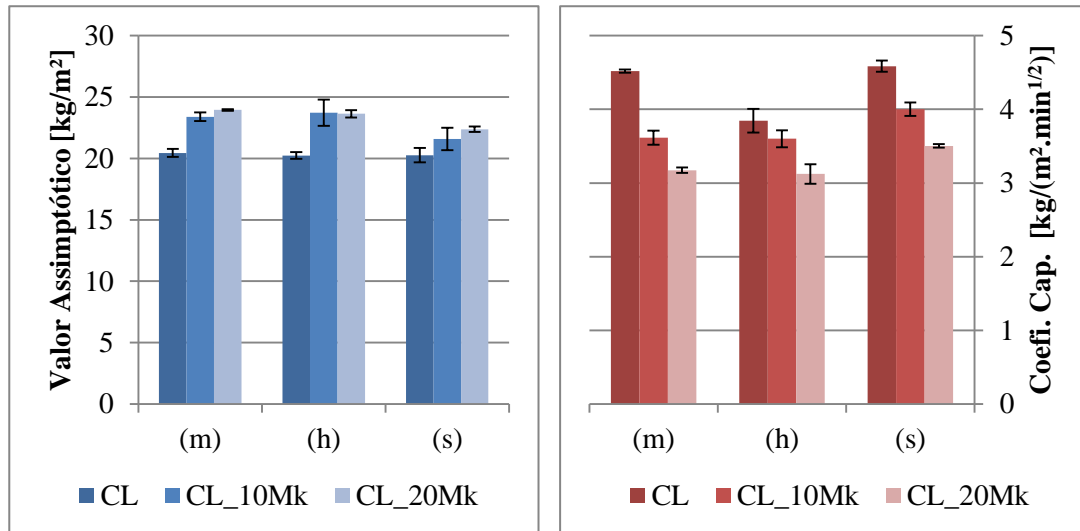


Figura 4.39 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 28 dias de cura

- **90 dias**

Na Figura 4.40 apresentam-se as curvas de absorção capilar de todas as argamassas na fase inicial, para que melhor se possa observar o avanço da absorção de água. A argamassa CL mantém o comportamento, liderando a velocidade inicial mas acabando por ter a menor quantidade total absorvida. Por outro lado, a argamassa CL\_20Mk (h) exibe a velocidade inicial mais reduzida, sendo a CL\_20Mk (m) a que apresenta a maior massa de água absorvida por área.

Na Figura 4.41 visualiza-se o mesmo desenvolvimento com a discordância do valor da argamassa CL\_20Mk (s), no que toca ao valor assintótico.

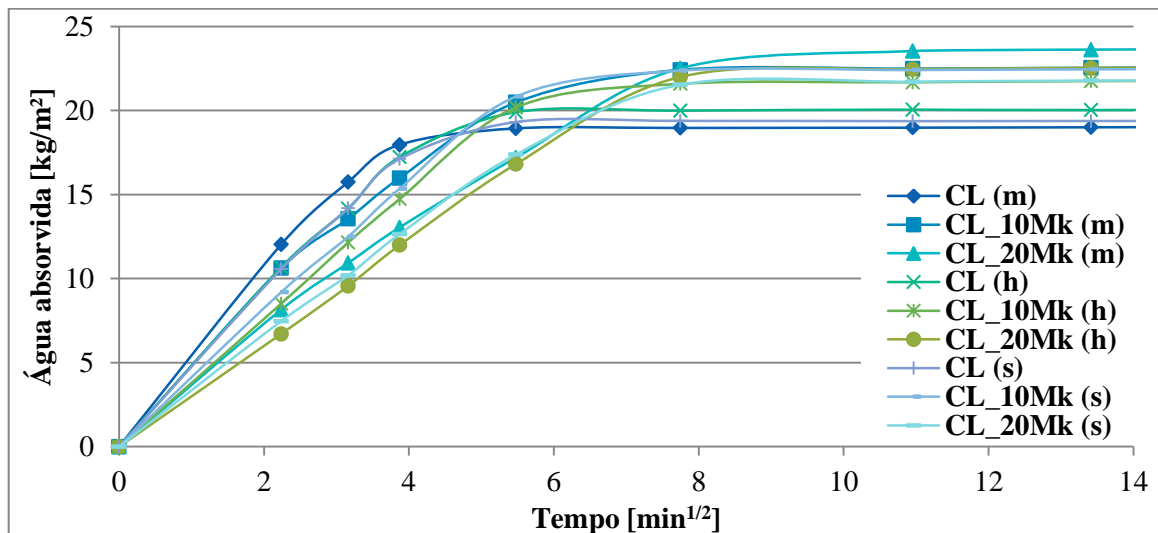


Figura 4.40 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 90 dias

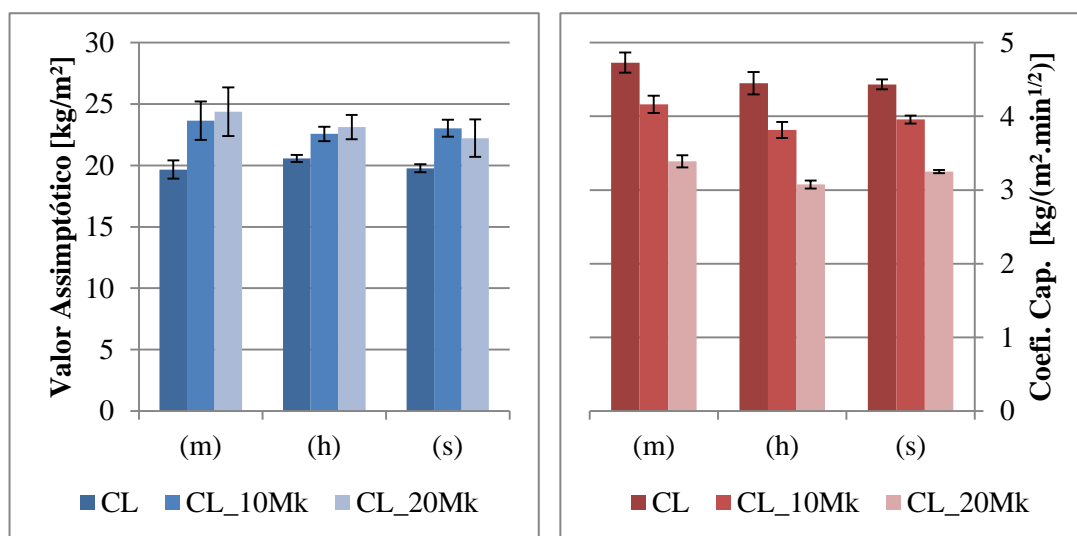


Figura 4.41 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 90 dias de cura

#### • 180 dias

Na Figura 4.42 expõem-se as curvas de absorção capilar de todas as argamassas na fase inicial, para que melhor se possa visualizar o andamento das mesmas. A argamassa CL preserva a conduta verificada às outras idades, enquanto as velocidades de absorção iniciais mais baixas já não mostram a mesma linearidade.

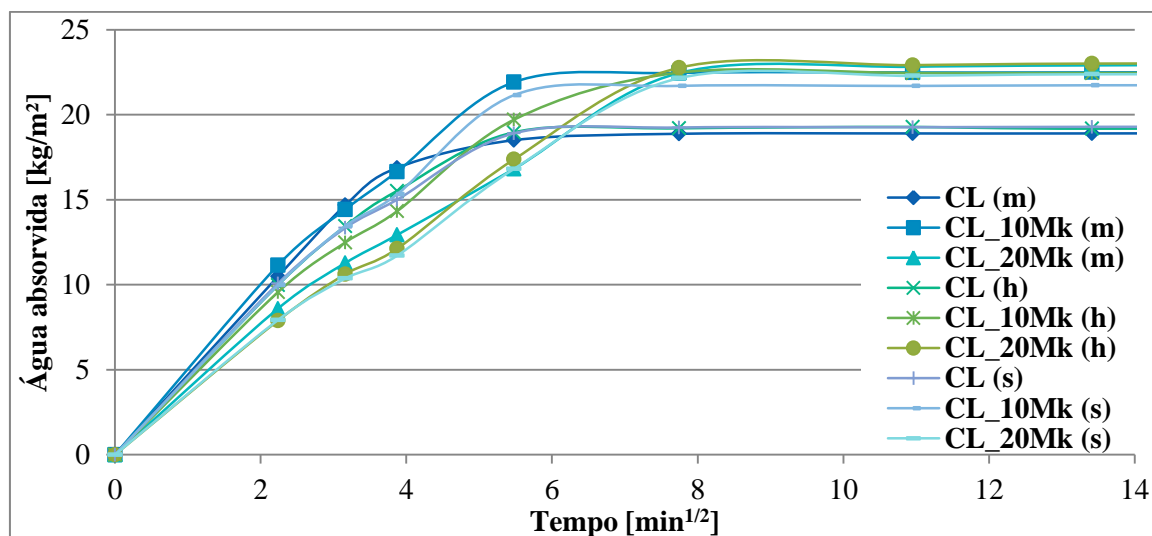


Figura 4.42 – Curvas de absorção capilar de todas as argamassas aos 180 dias

A Figura 4.43 reforça que, aos 180 dias, a tendência registada às outras idades é consistente, sendo apenas quebrada pontualmente, como aqui no caso da argamassa CL\_10Mk (m) em termos de valor assintótico e da CL\_10Mk (s) referente ao coeficiente de capilaridade.

Importa referir que os resultados obtidos no ensaio de valor assintótico estão directamente relacionados com o volume do provete, que, tendo em conta a semelhança da área de secção de todos os provetes, se traduz na altura imposta pelo ensaio de resistência à tracção por flexão. No



entanto considera-se que a média de alturas que os provetes adquirem dá origem a valores comparáveis.

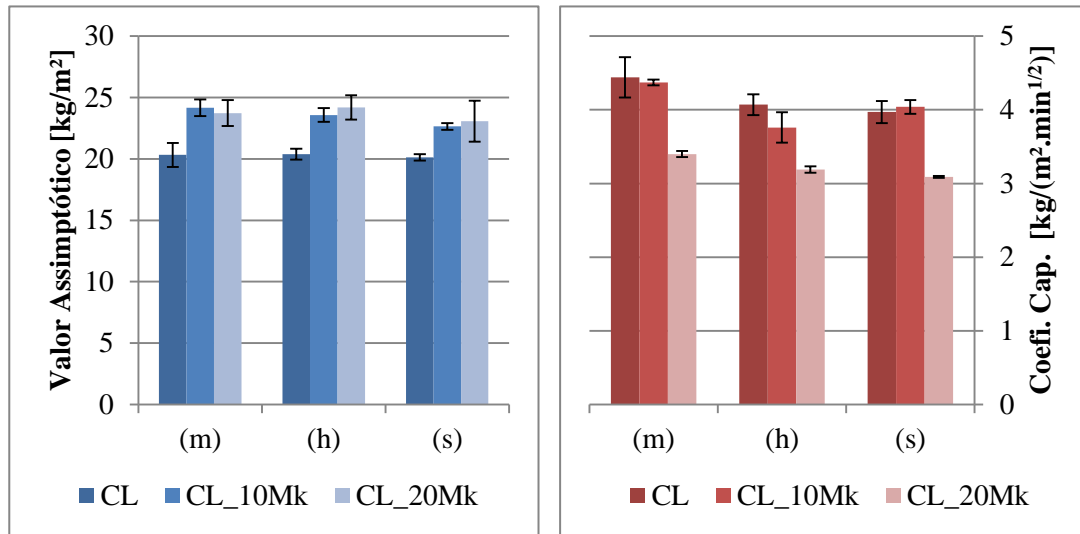


Figura 4.43 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade de todas as argamassas aos 180 dias de cura

#### 4.4.2.10 Secagem

Os Quadro 4.21 e Quadro 4.22 contêm as médias dos valores de taxa de secagem e de índice de secagem obtidos nos conjuntos dos três provetes da mesma argamassa e condição de cura, assim como os respectivos desvios padrão, às idades de 28, 90 e 180 dias. Na Figura 4.44 e na Figura 4.45, respectivamente, pode acompanhar-se a evolução desses valores das argamassas, nas diferentes condições de cura, com as idades. Na Figura 4.47, na Figura 4.49 e na Figura 4.51 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função da percentagem de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados.

Quadro 4.21 – Médias e desvios padrão dos valores de taxa de secagem

Argamassas	Taxa de secagem [kg/(m².h)]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	0,095	0,000	0,121	0,004	0,122	0,002
CL_10Mk (m)	0,095	0,024	0,102	0,009	0,135	0,000
CL_20Mk (m)	0,101	0,007	0,154	0,014	0,156	0,005
CL (h)	0,091	0,007	0,134	0,009	0,081	0,014
CL_10Mk (h)	0,096	0,004	0,121	0,001	0,093	0,013
CL_20Mk (h)	0,087	0,003	0,102	0,000	0,096	0,008
CL (s)	0,070	0,005	0,108	0,008	0,102	0,013
CL_10Mk (s)	0,077	0,005	0,124	0,014	0,082	0,005
CL_20Mk (s)	0,080	0,001	0,107	0,010	0,113	0,000

Quadro 4.22 – Médias e desvios padrão dos valores de índice de secagem

Argamassas	Índice de secagem [-]					
	28 dias		90 dias		180 dias	
	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.	Méd.	D. P.
CL (m)	0,166	0,020	0,229	0,040	0,225	0,021
CL_10Mk (m)	0,173	0,032	0,238	0,062	0,237	0,007
CL_20Mk (m)	0,187	0,007	0,193	0,032	0,247	0,058
CL (h)	0,246	0,016	0,157	0,015	0,265	0,015
CL_10Mk (h)	0,187	0,023	0,237	0,055	0,210	0,029
CL_20Mk (h)	0,221	0,007	0,205	0,016	0,203	0,076
CL (s)	0,284	0,017	0,274	0,040	0,267	0,032
CL_10Mk (s)	0,194	0,023	0,152	0,015	0,212	0,013
CL_20Mk (s)	0,197	0,013	0,181	0,048	0,230	0,040

A taxa de secagem revela a rapidez inicial de perda de água, sendo que um maior valor de taxa de secagem leva a uma maior velocidade de secagem. Da Figura 4.44 consegue retirar-se que os valores mais elevados de taxa de secagem são registados na argamassa CL\_20Mk da cura marítima, a todas as idades. Nas argamassas de cura húmida observa-se o valor mais alto aos 90 dias.

O índice de secagem está associado não apenas ao início mas sim à secagem total, isto implica que a um menor valor do índice de secagem corresponde uma maior facilidade de secagem total. Tendo em conta a Figura 4.45, atenta-se que os maiores valores deste índice, que estão associados a piores características de secagem, são apresentados pela argamassa de referência da cura standard.

Nos resultados de taxa de secagem, a cura marítima apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura standard a média mais baixa aos 28 e 90 dias.

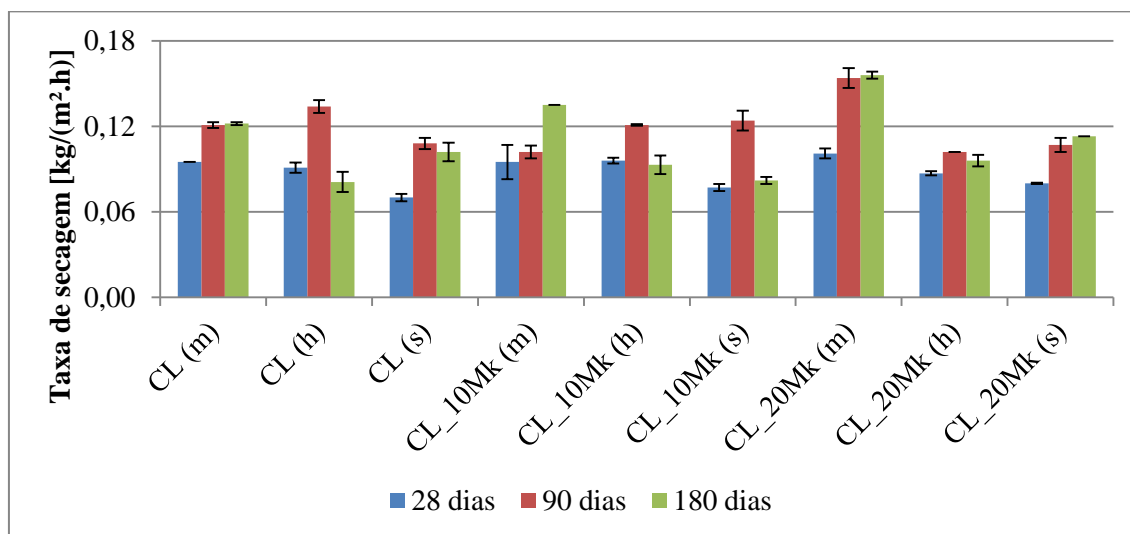


Figura 4.44 – Taxa de secagem de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

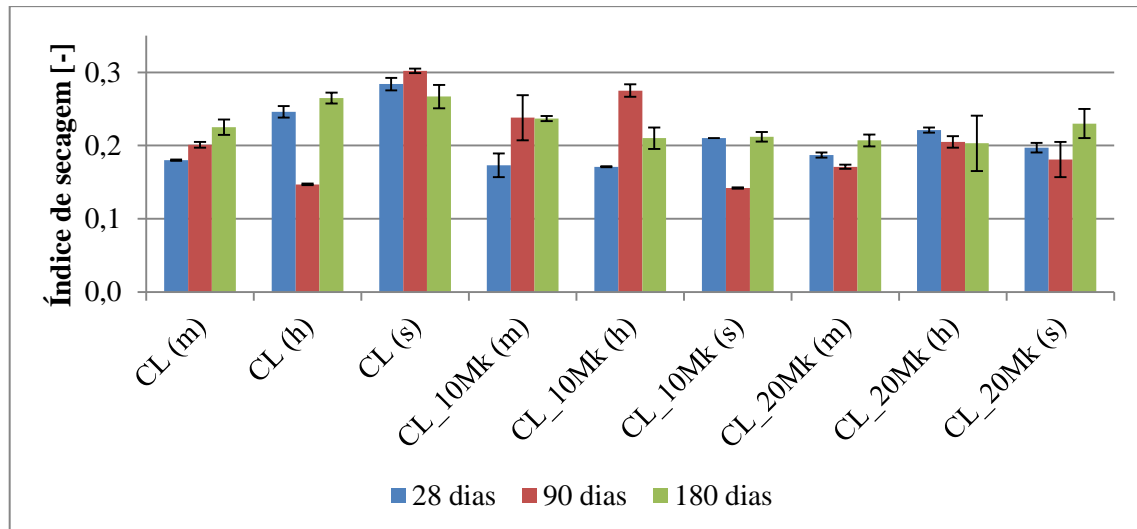


Figura 4.45 – Índice de secagem de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

Nos resultados de índice de secagem, a cura standard apresentou a média de valores mais elevada a todas as idades e a cura marítima a média mais baixa.

Na Figura 4.47, na Figura 4.49 e na Figura 4.51 está representada a evolução dos valores do ensaio, em função do teor de metacaulino, em cada ambiente de cura, para cada uma das idades em que os ensaios foram realizados. Os valores de referência são os das argamassas CL.

- **28 dias**

Na Figura 4.46 encontram-se expostas as curvas de secagem nesta idade de cura. As argamassas CL (s) e (h) mostram comportamentos distintos das outras argamassas, uma vez que a sua secagem se dá quase de modo linear, apresentando indicativos de pior secagem a longo prazo. Pelo contrário a argamassa CL\_10Mk (h), com duas fases de secagem mais delineadas recta inicial e pela curva mais proeminente que lhe sucede, apresenta melhor comportamento à secagem de longo prazo.

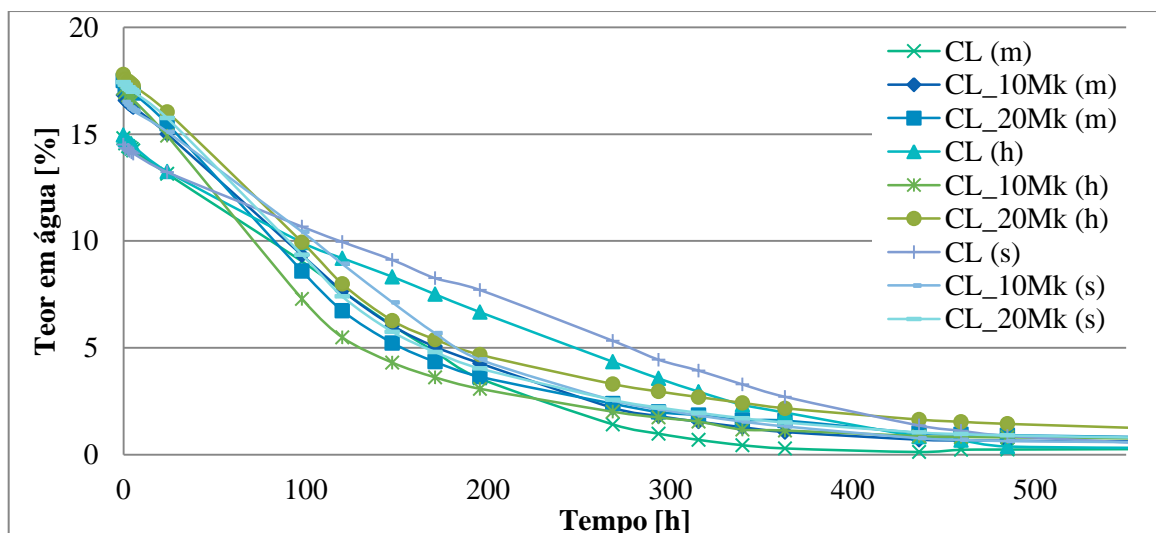


Figura 4.46 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 28 dias

A Figura 4.47 mostra apenas que ao valor mais baixo de taxa de secagem está associado o valor mais alto de índice de secagem, estando os restantes valores excluídos desta associação.

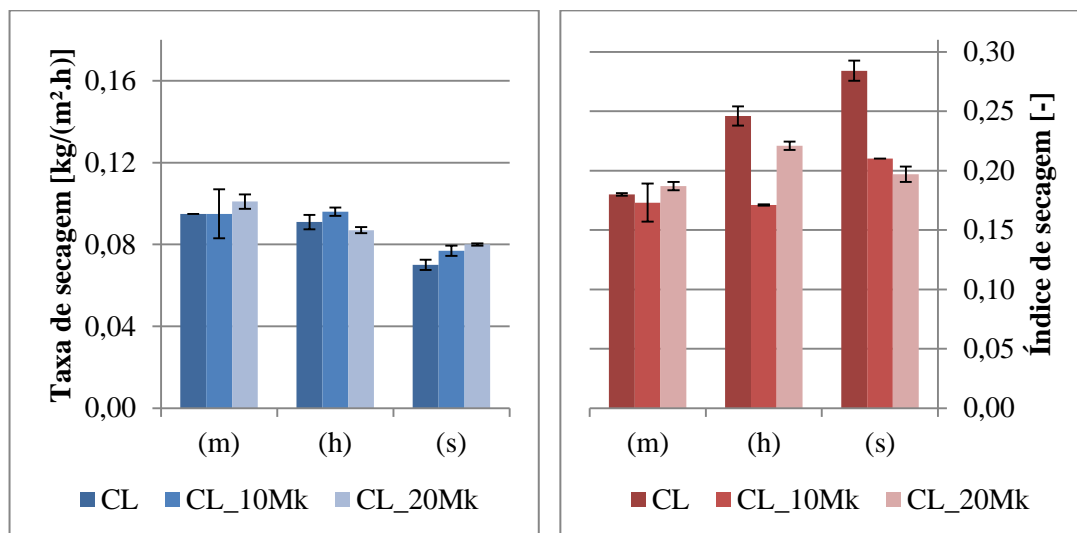


Figura 4.47 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 28 dias

- **90 dias**

Na Figura 4.48 encontram-se expostas as curvas de secagem nesta idade de cura. A argamassa de referência da cura standard mantém o comportamento apresentado aos 28 dias. Já a argamassa que revela melhor comportamento à secagem de longo prazo, não é a que se encontra na zona inferior do gráfico, mas sim a CL\_10Mk (s), cuja curva é mais acentuada.

Na Figura 4.49 já é visível, em grande parte dos valores de 90 dias, uma relação inversamente proporcional entre os valores de taxa e índice de secagem.

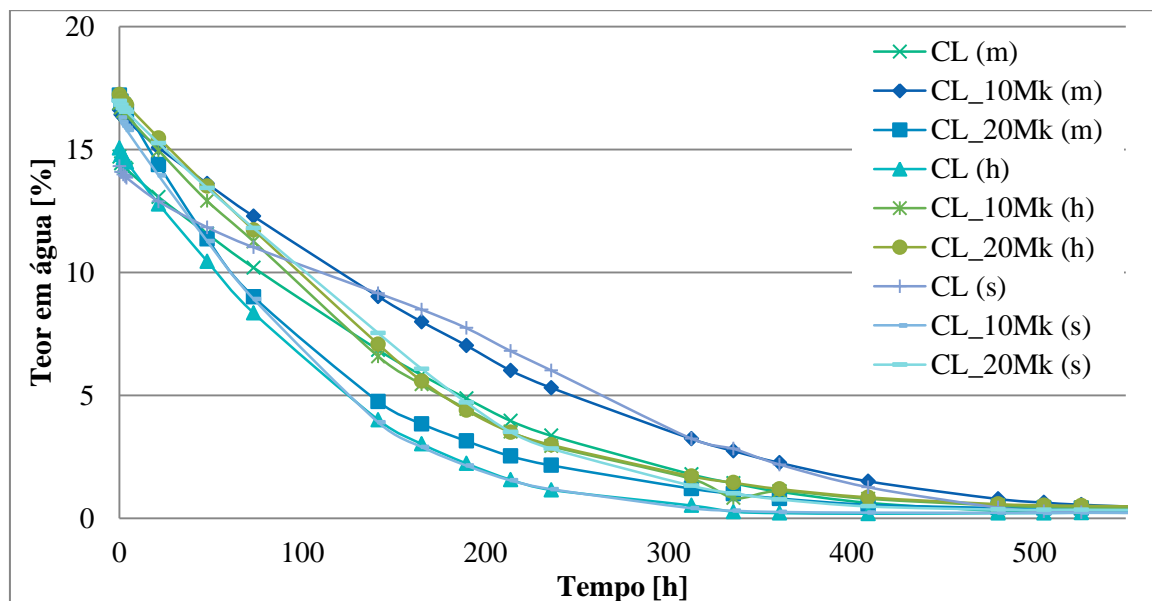


Figura 4.48 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 90 dias

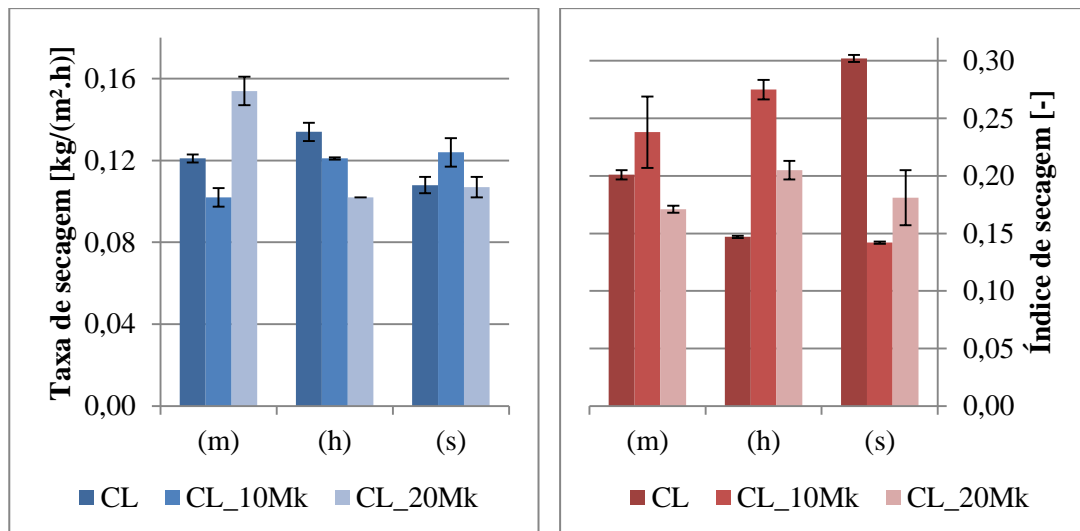


Figura 4.49 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 90 dias

- **180 dias**

Na Figura 4.50 encontram-se expostas as curvas de secagem nesta idade de cura. A esta idade de cura, graficamente já não se pode dizer que haja uma distinção clara das curvas, sendo necessário recorrer à análise da Figura 4.51.

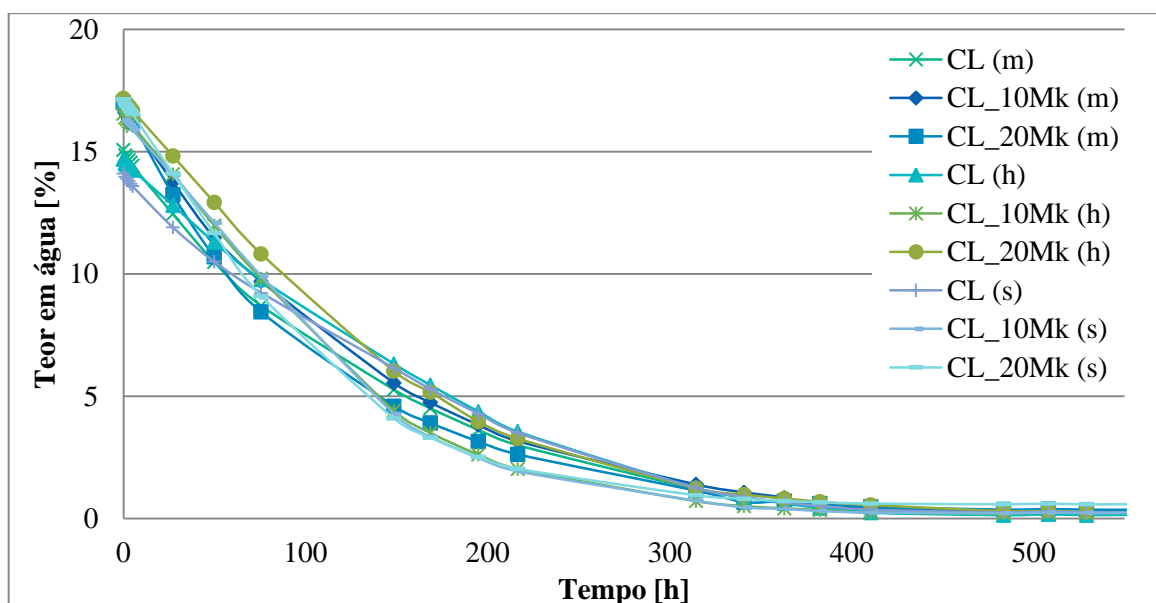


Figura 4.50 – Curvas de secagem de todas as argamassas aos 180 dias

Aos 180 dias é reforçada a tendência registada aos 90 dias, mas uma vez que não é generalizada, não há informação suficiente para afirmar esta conexão.

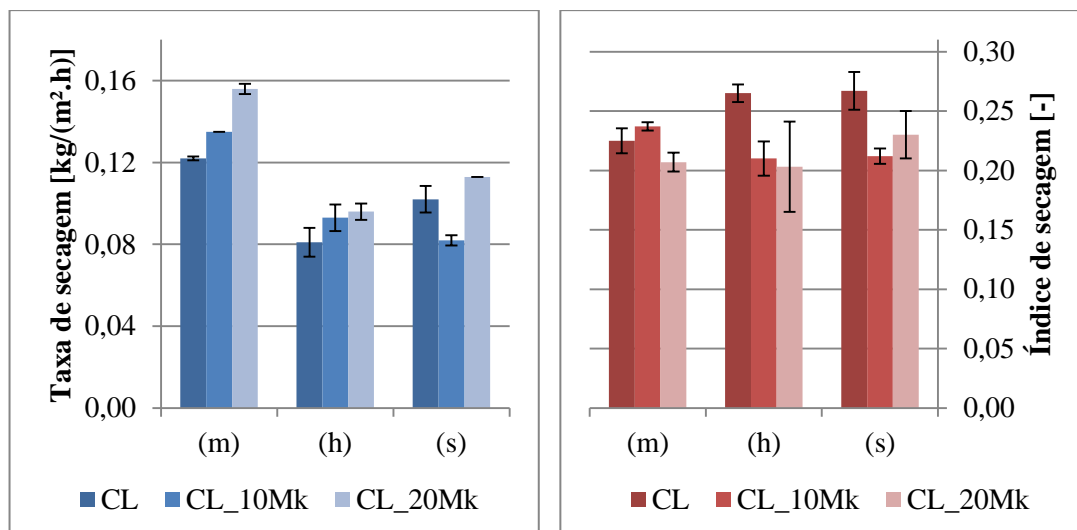


Figura 4.51 – Taxa de secagem e índice de secagem de todas as argamassas aos 180 dias

#### 4.4.2.11 Resistência aos sulfatos

A Figura 4.52, a Figura 4.54 e a Figura 4.56 registam a evolução do ensaio de resistência aos sulfatos das argamassas aos 28, 90 e 180 dias, respectivamente. Na Figura 4.53 e na Figura 4.55 apresentam-se os valores de retenção inicial de sulfatos correspondente ao cumprimento do primeiro ciclo de molhagem e secagem, com a respectiva estabilização de massa.

##### • 28 dias

A Figura 4.52 permite observar que as argamassas somente de cal aérea foram as únicas que permaneceram sem perda total de massa, ao longo dos 25 ciclos efectuados. Das argamassas com metacaulino, verifica-se que as com menor resistência são as de cura marítima, com perdas de massa significativas a partir do 6º ciclo, seguidas pelas argamassas de cura standard, que mostraram o comportamento mais díspar entre a 10Mk e 20Mk, exibindo a segunda a maior resistência.

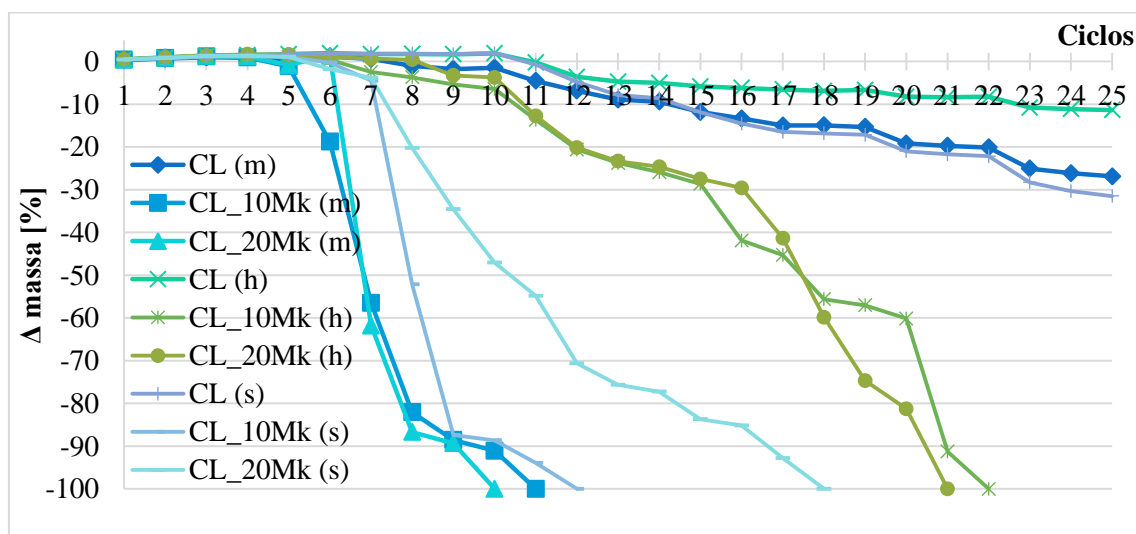


Figura 4.52 – Resistência aos sulfatos aos 28 dias

A cura cujas argamassas apresentam melhor comportamento é a húmida, com perdas de massa consideráveis desde o 10º ciclo e a revelar a maior uniformidade em termos de perda de massa, permanecendo um núcleo bem distinto ao longo de toda a duração do ensaio.

- **90 dias**

Através da Figura 4.53 pode visionar-se a vocação crescente da retenção inicial de sulfatos com o aumento da quantidade de metacaulino, dentro de cada cura. Significa isto que a presença de metacaulino nas argamassas tem influência na absorção e retenção de sais. Esta característica é nociva à durabilidade das argamassas quando expostas a este tipo de contaminação.

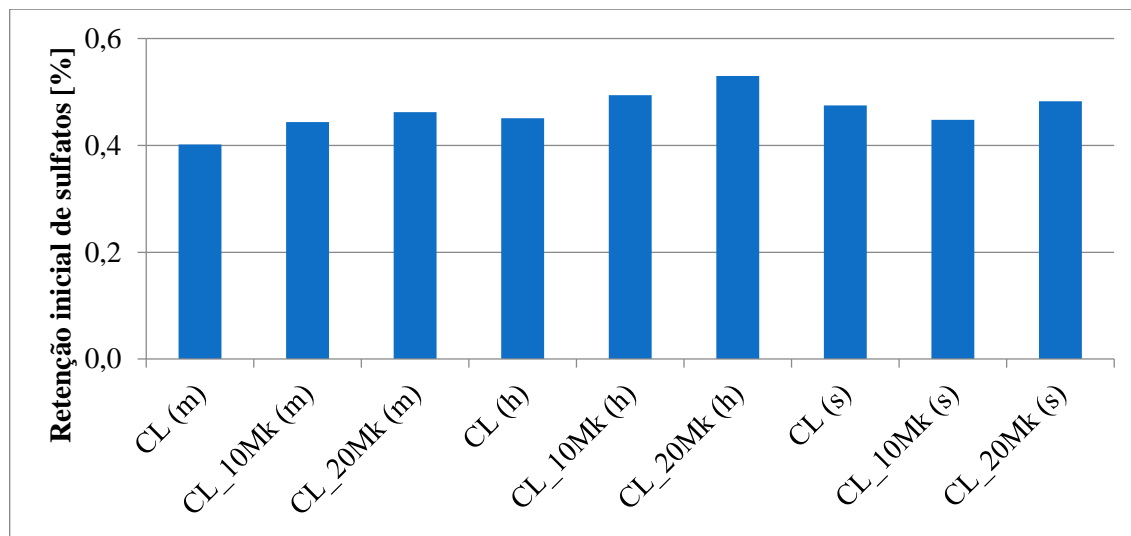


Figura 4.53 – Retenção inicial de sulfatos aos 90 dias

Na Figura 4.54 observa-se que as argamassas CL foram as únicas que permanecem sem perda total de massa, ao longo dos 25 ciclos, juntando-se a elas a CL\_20Mk (s). Nesta idade as perdas de massa significativas têm início ao 5º ciclo e logo de modo realçado. Em geral o comportamento é pior em relação aos 28 dias, sendo o caso mais visível o da argamassa CL\_20Mk (h); no entanto para o caso da argamassa CL\_20Mk (s) à uma melhoria assinalável na resistência.

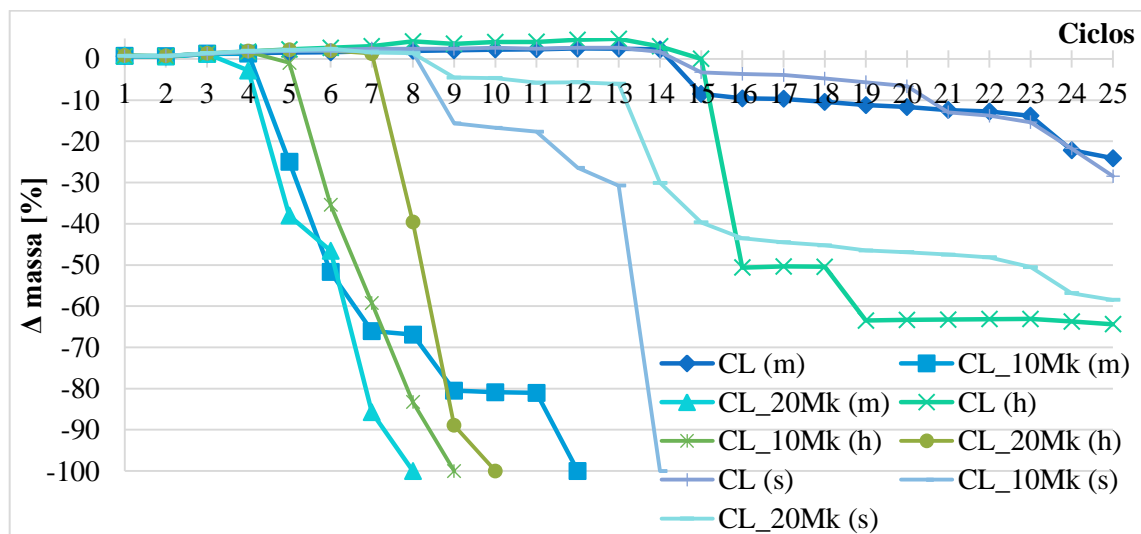


Figura 4.54 – Resistência aos sulfatos aos 90 dias

- **180 dias**

A Figura 4.55 revela uma tendência idêntica à verificada aos 90 dias, isto é, a massa de sulfatos retida em função da massa dos provetes aumenta com o teor de metacaulino existente nas argamassas, quando comparadas dentro do mesmo tipo de cura.

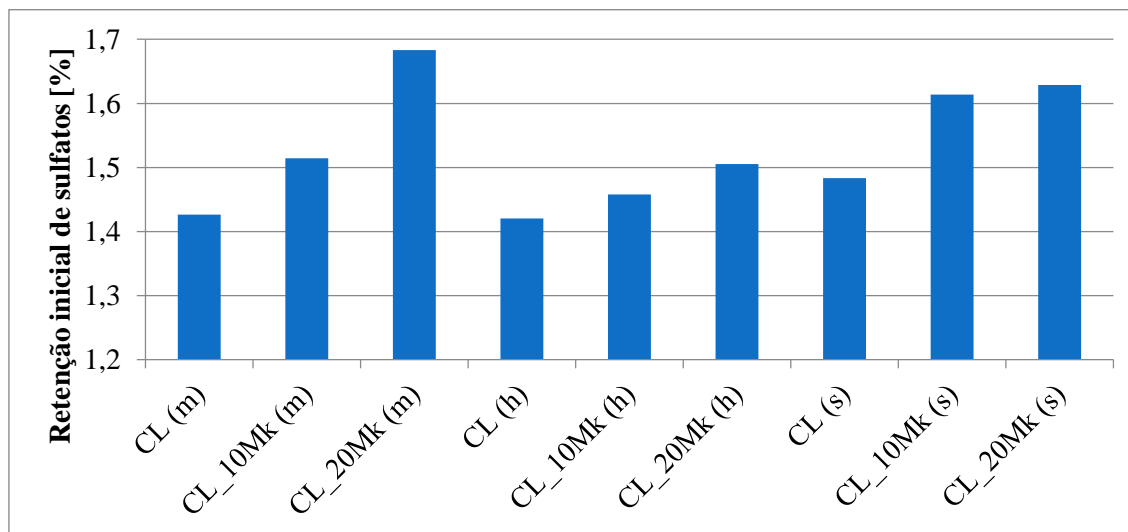


Figura 4.55 – Retenção inicial de sulfatos aos 180 dias

Aos 180 dias verifica-se a perda total de massa em todos os provetes, cuja duração máxima foi de 14 ciclos. Pela primeira vez as argamassas sem metacaulino não resistiram à duração total do ensaio, sendo que a argamassa na cura standard não resistiu nem aos 14 ciclos.

Os provetes foram mantidos em ciclos de molhagem e secagem enquanto a sua degradação se deu de modo uniforme, ou seja, enquanto as perdas de massa aconteceram na superfície do provete e perdurou um núcleo sem que se desse uma rotura frágil do provete, dividindo-o em diversas peças distintas. Deste modo são explicadas as abruptas variações ocorridas nos gráficos, que levaram à perda total de massa.

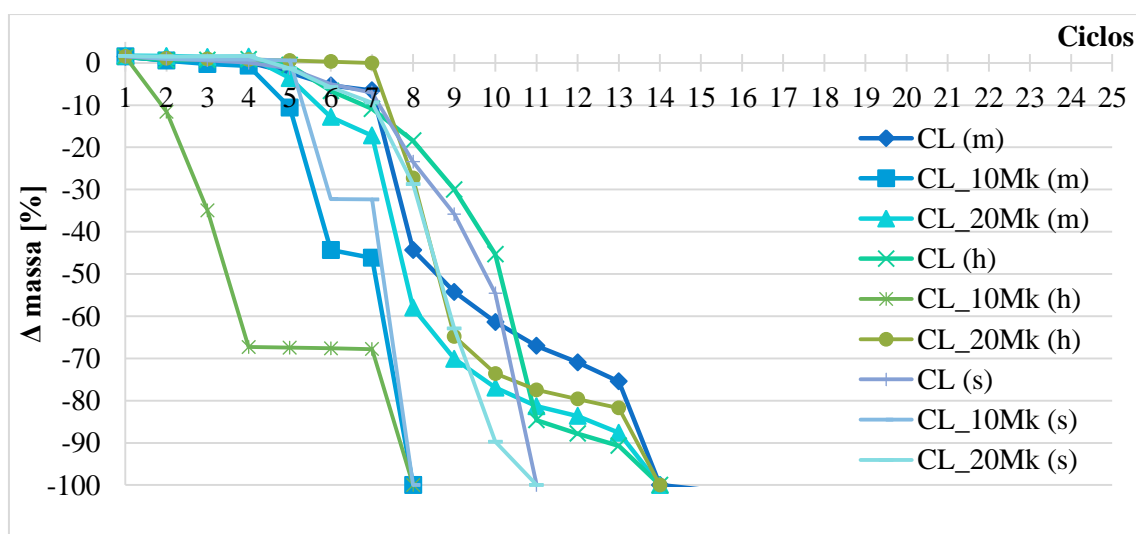


Figura 4.56 – Resistência aos sulfatos aos 180 dias



### 4.4.3. Rebocos sobre o murete

Como a execução dos rebocos no murete só aconteceu na fase final do trabalho, não foi possível realizar ensaios de caracterização destas aplicações. Analisou-se apenas as suas aplicabilidades e efectuou-se uma análise visual dos rebocos.

#### 4.4.3.1 Amassaduras para camada base

A Figura 4.57 tem as argamassas misturadas *in situ*, em estado fresco, antes da aplicação da camada de base.

As argamassas apresentavam uma trabalhabilidade muito boa e a sua aplicação era muito fácil não se verificando diferenças relevantes entre as misturas. A cal aérea confere às argamassas (em estado fresco) uma goma que faz com que as argamassas adiram com facilidade ao suporte. Isto deve-se ao facto das partículas que constituem a cal serem muito finas e terem uma baridade reduzida. Tendo em consideração que a baridade do metacaulino ainda é mais baixa, este, ao substituir a cal aérea, mantém estas características.



Figura 4.57 – Argamassas CL, CL\_10Mk e CL\_20Mk para camada de base

#### 4.4.3.2 Análise visual aos 7 dias de cura

A Figura 4.58 e a Figura 4.59 apresentam ambos os paramentos, com as três argamassas, orientados a Sul e a Norte, respectivamente. Na Figura 4.60, na Figura 4.61 e na Figura 4.62 apresenta-se os rebocos executados, comparando as mesmas argamassas com orientações contrárias.

Os rebocos não apresentavam qualquer tipo de fenómeno de retracção com fissuração ou fendilhação, visível a olho nu.

Entre as duas orientações dos paramentos é possível observar que a exposição a Sul é mais susceptível à secagem, devido à maior exposição à radiação solar.



Figura 4.58 – Paramento orientado a Sul



Figura 4.59 – Paramento orientado a Norte

Os rebocos apresentavam uma cor próxima do branco, típica dos rebocos com este tipo de ligante, com uma ligeira variação cromática entre as duas orientações, apesar da Figura 4.60, da Figura 4.61 e da Figura 4.62 salientarem excessivamente essa mesma variação. A superfície apresentada pelos rebocos era regular.

A argamassa CL apresentava uma ligeira friabilidade na sua exposição a Norte mas, ainda assim, incomparável à friabilidade apresentada pelos provetes em suporte de tijolo da mesma argamassa aos 28 dias (21 dias a mais de tempo de cura). Devido a esta observação recriou-se o ensaio de resistência superficial, do qual resultou um arrancamento vestigial.



Figura 4.60 – Reboco de argamassa CL orientada a Sul e a Norte

No caso das argamassas CL<sub>10Mk</sub> e CL<sub>20Mk</sub>, quando comparadas às duas exposições, não há mais diferenças assinaláveis.

Figura 4.61 – Reboco de argamassa CL<sub>10Mk</sub> orientada a Sul e a Norte



Figura 4.62 – Reboco de argamassa CL\_20Mk orientada a Sul e a Norte

#### **4.4.3.3 Análise visual aos 14 dias de cura**

Aos 14 dias de cura, constatou-se que as aplicações das argamassas nos rebocos não tinham sofrido qualquer alteração face ao referido na análise visual aos 7 dias de cura.



## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após a análise individual de cada ensaio, neste capítulo vai efectuar-se um cruzamento dos resultados obtidos em diferentes ensaios no âmbito deste trabalho, procurando, deste modo, encontrar justificações plausíveis para características e comportamentos exibidos pelas argamassas, correlacionando parâmetros de diferentes naturezas.

As comparações alargam-se a valores de outros trabalhos, nomeadamente os inseridos nos projectos METACAL e LIMECONTECH, uma vez que a base é semelhante e os materiais utilizados são os mesmos, o que leva a uma enorme afinidade entre eles.

Além da comparação de comportamento em relação a outras argamassas, interessa também avaliar as suas características individuais para apurar a extensão da sua aplicabilidade, através do cumprimento de valores normativos e aconselhados por estudos com grande relevo nesta área.

Nos Quadro 5.1, Quadro 5.2 e Quadro 5.3 estão compilados todas as médias dos valores obtidos e desvios padrão resultantes dos ensaios de caracterização efectuados em estado fresco, provetes em suporte de tijolo e provetes prismáticos, respectivamente.

Quadro 5.1 – Síntese dos resultados dos ensaios em estado fresco

Ensaio	Valor	Argamassas		
		CL	CL_10Mk	CL_20Mk
Espalhamento [mm]	Méd	141,0	134,1	136,7
	D.P.	2,6	2,7	2,0
Teor em ar [%]	Méd	4,2	4,3	4,1
Retenção de água [%]	Méd	93,9	92,4	92,8
Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Méd	1952	1965	1962

Tal como foi referido anteriormente, a ausência de desvios padrão nos ensaios de teor em ar e massa volúmica, deve-se à gestão dos recursos disponíveis, evitando o excesso de desperdícios no decorrer das amassaduras.

No Quadro 5.2 aparece o coeficiente de absorção para 4 ml de água por ser um valor mais representativo de coeficiente de absorção.

Quadro 5.2 – Síntese dos resultados dos ensaios em provetes de suporte em tijolo

Ensaio	idade [dias]	Valor	Argamassas								
			CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
			(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
Dureza Superficial [shore-A]	28	Méd	71	63	65	66	64	75	72	74	73
		D.P.	8	10	8	9	10	10	9	9	8
	90	Méd	64	60	63	70	70	69	71	69	71
		D.P.	17	18	7	13	15	8	12	11	14
	180	Méd	65	65	62	70	71	75	79	65	68
		D.P.	10	12	7	11	14	10	11	8	12
$\lambda$ [W/(m.K)]	28	Méd	0,672	0,680	0,365	0,482	0,804	0,391	0,499	0,674	0,493
		D.P.	0,115	0,087	0,099	0,046	0,067	0,021	0,038	0,126	0,024
	90	Méd	0,513	0,564	0,358	0,490	0,570	0,425	0,487	0,556	0,536
		D.P.	0,035	0,061	0,113	0,047	0,049	0,043	0,046	0,056	0,037
	180	Méd	0,474	0,492	0,387	0,507	0,562	0,443	0,539	0,505	0,528
		D.P.	0,036	0,059	0,096	0,038	0,037	0,028	0,027	0,049	0,046
Velocidade ultra-sons [m/s]	28	Méd	936	1133	1185	1043	1202	1363	1467	1397	1255
		D.P.	126	148	177	207	174	119	468	184	131
	90	Méd	997	1003	922	1193	997	1266	1372	1177	1051
		D.P.	202	156	65	199	159	120	132	97	98
	180	Méd	910	1331	1128	1053	1114	1446	1248	1279	1119
		D.P.	87	157	143	176	231	169	91	69	80
$C_{abs.Tot}$ [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	28	Méd	13,2	11,6	20,2	7,8	5,8	13,7	7,5	3,1	11,2
		D.P.	1,2	0,3	1,1	0,5	0,3	2,5	0,4	0,3	2,1
	90	Méd	6,6	21,7	26,5	7,1	11,1	10,3	4,3	4,4	8,1
		D.P.	2,2	5,7	8,4	1,3	3,3	0,3	0,5	1,0	0,5
	180	Méd	11,0	38,1	26,6	9,9	20,2	13,3	5,1	5,8	9,1
		D.P.	1,3	0,9	5,6	0,4	2,9	1,2	0,7	0,7	0,3
$C_{abs.4ml}$ [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	28	Méd	8,2	7,4	15,1	4,3	4,3	7,3	4,9	2,2	6,2
		D.P.	0,9	0,7	7,5	0,8	2,7	0,7	0,5	0,1	2,6
	90	Méd	4,2	12,2	17,7	3,3	5,0	5,6	2,7	2,6	4,4
		D.P.	1,0	10,4	2,4	0,4	1,3	0,4	0,2	0,5	0,3
	180	Méd	9,1	18,4	14,1	4,3	11,0	7,0	3,0	3,0	5,9
		D.P.	3,0	1,5	1,8	0,1	3,1	0,7	0,4	0,4	0,2
Quantidade Total de água Absorvida total [ml]	28	Méd	49,1	43,0	75,0	29,0	21,8	50,8	28,0	11,4	41,7
		D.P.	4,6	1,1	4,0	1,8	0,9	9,3	1,5	1,1	7,8
	90	Méd	24,6	80,8	98,6	26,5	41,4	38,4	16,1	16,4	30,2
		D.P.	8,4	21,2	31,4	4,8	12,4	1,1	2,0	3,6	1,8
	180	Méd	41,0	141,7	98,9	36,9	75,1	49,4	18,9	21,5	33,9
		D.P.	4,9	3,5	20,7	1,5	10,7	4,5	2,7	2,7	1,1



Quadro 5.3 – Síntese dos resultados dos ensaios em provetes prismáticos

Ensaio	idade [dias]	Valor	Argamassas								
			CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
			(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
$\lambda$ [W/(m.K)]	28	Méd	0,761	0,914	0,923	0,721	0,801	0,870	0,710	0,732	0,702
		D.P.	0,023	0,092	0,010	0,018	0,027	0,004	0,022	0,066	0,016
	90	Méd	0,723	0,766	0,736	0,702	0,744	0,710	0,691	0,723	0,696
		D.P.	0,034	0,018	0,046	0,022	0,012	0,011	0,013	0,017	0,007
	180	Méd	0,714	0,727	0,719	0,699	0,712	0,705	0,684	0,696	0,695
		D.P.	0,020	0,080	0,012	0,024	0,016	0,011	0,013	0,058	0,011
Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	28	Méd	1700	1752	1659	1711	1740	1683	1716	1754	1704
		D.P.	27	33	9	12	15	23	12	8	10
	90	Méd	1696	1686	1709	1729	1700	1717	1707	1697	1718
		D.P.	15	10	4	14	8	17	18	35	14
	180	Méd	1690	1677	1692	1730	1712	1716	1709	1708	1725
		D.P.	17	9	4	7	10	4	11	38	17
Edin [MPa]	28	Méd	2153	615	2182	1672	1262	1392	3367	3997	4945
		D.P.	78	36	83	132	63	27	160	166	86
	90	Méd	2969	2003	2610	2212	1367	1768	2748	2497	3710
		D.P.	36	67	14	118	60	138	145	63	253
	180	Méd	2924	2376	2650	1633	1255	1723	2982	2366	3607
		D.P.	161	95	72	165	34	132	213	125	307
Rt [MPa]	28	Méd	0,24	0,06	0,24	0,20	0,12	0,18	0,35	0,48	0,63
		D.P.	0,03	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,07	0,07
	90	Méd	0,29	0,24	0,36	0,25	0,16	0,21	0,43	0,39	0,65
		D.P.	0,01	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01
	180	Méd	0,25	0,27	0,26	0,13	0,13	0,20	0,35	0,35	0,57
		D.P.	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,09
Rc [MPa]	28	Méd	0,32	0,20	0,43	0,59	0,41	0,61	1,49	1,49	1,99
		D.P.	0,03	0,02	0,02	0,04	0,00	0,02	0,16	0,04	0,14
	90	Méd	0,40	0,41	0,56	0,65	0,37	0,70	1,31	0,95	2,03
		D.P.	0,02	0,05	0,05	0,05	0,06	0,03	0,05	0,28	0,10
	180	Méd	0,52	0,57	0,64	0,49	0,45	0,81	0,95	1,04	1,86
		D.P.	0,05	0,04	0,08	0,03	0,01	0,06	0,17	0,06	0,13
Porosidade Aberta [%]	28	Méd	28,7	28,3	27,8	29,4	30,5	30,1	30,3	31,1	30,8
		D.P.	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
	90	Méd	27,6	27,6	26,7	29,4	29,4	29,1	30,2	30,7	29,8
		D.P.	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1
	180	Méd	25,8	26,8	24,9	27,3	28,8	28,0	28,8	29,6	28,6
		D.P.	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1

Ensaio	idade [dias]	Valor	Argamassas								
			CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
			(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
Massa Volúmica Aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	28	Méd	1665	1623	1702	1645	1615	1660	1630	1593	1642
		D.P.	2	6	9	10	3	4	9	4	8
	90	Méd	1676	1652	1712	1665	1628	1672	1635	1619	1655
		D.P.	11	6	9	3	5	3	8	10	11
	180	Méd	1722	1709	1789	1704	1650	1750	1657	1635	1678
		D.P.	4	3	3	4	7	1	6	3	11
Valor Assimptótico [kg/m <sup>2</sup> ]	28	Méd	20,4	20,2	20,3	23,4	23,7	21,6	24,0	23,6	22,4
		D.P.	0,7	0,5	1,2	0,7	2,1	1,8	0,1	0,6	0,4
	90	Méd	19,7	20,6	19,8	23,7	22,6	23,0	24,4	23,1	22,2
		D.P.	1,5	0,6	0,6	3,1	1,2	1,4	4,0	2,0	3,0
	180	Méd	20,3	20,4	20,1	24,2	23,6	22,6	23,7	24,2	23,1
		D.P.	2,0	0,9	0,5	1,4	1,1	0,5	2,1	2,0	3,3
Coeficiente de Capilaridade [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	28	Méd	4,5	3,8	4,6	3,6	3,6	4,0	3,2	3,1	3,5
		D.P.	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,0
	90	Méd	4,7	4,5	4,4	4,2	3,8	4,0	3,4	3,1	3,3
		D.P.	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0
	180	Méd	4,4	4,1	4,0	4,4	3,8	4,0	3,4	3,2	3,1
		D.P.	0,5	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0
Taxa de Secagem [kg/(m <sup>2</sup> .h)]	28	Méd	0,095	0,091	0,070	0,095	0,096	0,077	0,101	0,087	0,080
		D.P.	0,000	0,007	0,005	0,024	0,004	0,005	0,007	0,003	0,001
	90	Méd	0,121	0,134	0,108	0,102	0,121	0,124	0,154	0,102	0,107
		D.P.	0,004	0,009	0,008	0,009	0,001	0,014	0,014	0,000	0,010
	180	Méd	0,122	0,081	0,102	0,135	0,093	0,082	0,156	0,096	0,113
		D.P.	0,002	0,014	0,013	0,000	0,013	0,005	0,005	0,008	0,000
Índice de Secagem [-]	28	Méd	0,180	0,246	0,284	0,173	0,171	0,210	0,187	0,221	0,197
		D.P.	0,002	0,016	0,017	0,032	0,001	0,000	0,007	0,007	0,013
	90	Méd	0,201	0,147	0,302	0,238	0,275	0,142	0,171	0,205	0,181
		D.P.	0,008	0,002	0,006	0,062	0,017	0,002	0,006	0,016	0,048
	180	Méd	0,225	0,265	0,267	0,237	0,210	0,212	0,207	0,203	0,230
		D.P.	0,021	0,015	0,032	0,007	0,029	0,013	0,016	0,076	0,040
Δmassa 25 ciclos [%]	28	Méd	-27	-11	-31	-100	-100	-100	-100	-100	-100
		D.P.	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	90	Méd	-24	-65	-29	-100	-100	-100	-100	-100	-61
		D.P.	5	49	14	0	0	0	0	0	33
	180	Méd	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
		D.P.	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Ensaio	idade [dias]	Valor	Argamassas								
			CL			CL_10Mk			CL_20Mk		
			(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)	(m)	(h)	(s)
$\Delta$ massa 10 ciclos [%]	28	Méd	-1	2	2	-91	-6	-88	-100	-5	-47
		D.P.	0	1	0	13	1	16	0	4	12
	90	Méd	2	4	3	-82	-100	-16	-100	-82	-5
		D.P.	0	0	0	25	0	12	0	25	8
	180	Méd	-63	-84	-100	-100	-100	-100	-77	-74	-90
		D.P.	27	23	0	0	0	0	16	19	14

## 5.1. Comparação de resultados obtidos no presente estudo

### 5.1.1. Estado fresco

Comparando os ensaios em estado fresco de espalhamento e retenção de água através da Figura 5.1, é possível observar a mesma tendência nos valores de ambos os ensaios.

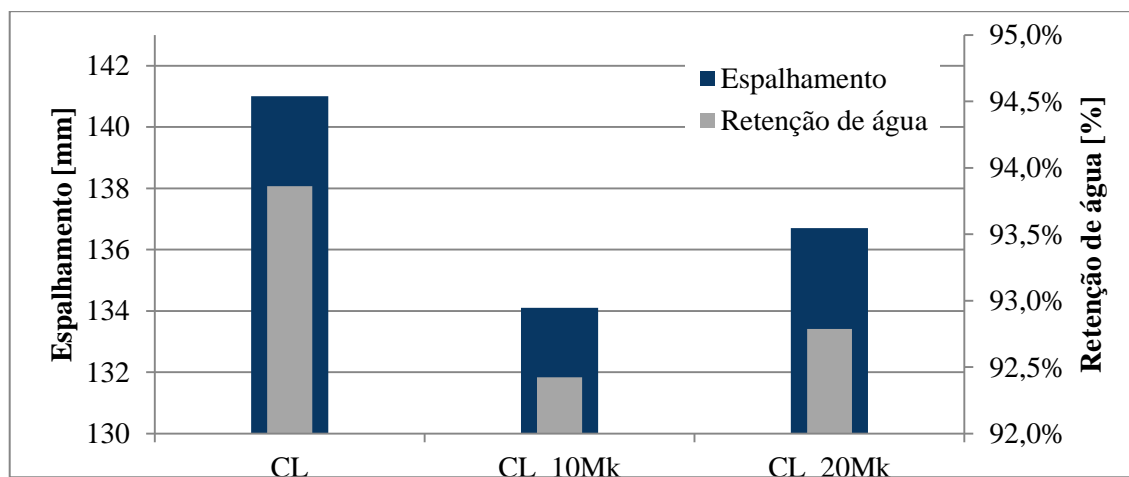


Figura 5.1 – Comparação entre espalhamento e retenção de água

Já na Figura 5.2, juntando os ensaios de espalhamento e massa volúmica, vê-se uma disposição inversa dos valores.

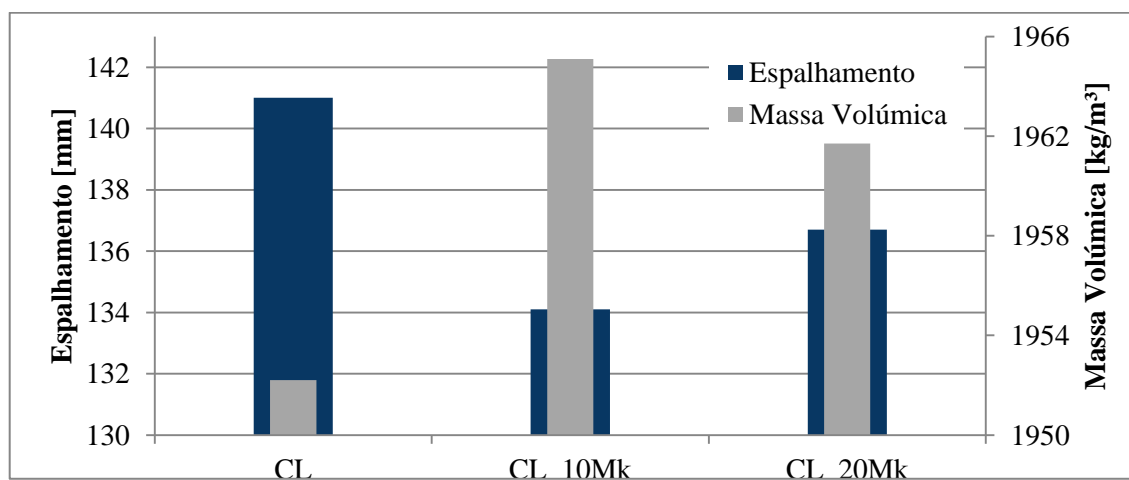


Figura 5.2 – Comparação entre espalhamento e massa volúmica

### 5.1.2. Parâmetros mecânicos

A Figura 5.3, a Figura 5.4 e a Figura 5.5 contêm a comparação dos parâmetros mecânicos aos 28, 90 e 180 dias e revelam uma relação com tendência idêntica para os valores de módulo de elasticidade dinâmico e de resistência à compressão.

No que diz respeito aos valores de resistência à tracção, a tendência é maioritariamente crescente com o aumento do teor em metacaulino, com a excepção da cura húmida aos 90 e 180 dias e da cura marítima aos 180 dias, como já foi referido no capítulo anterior.

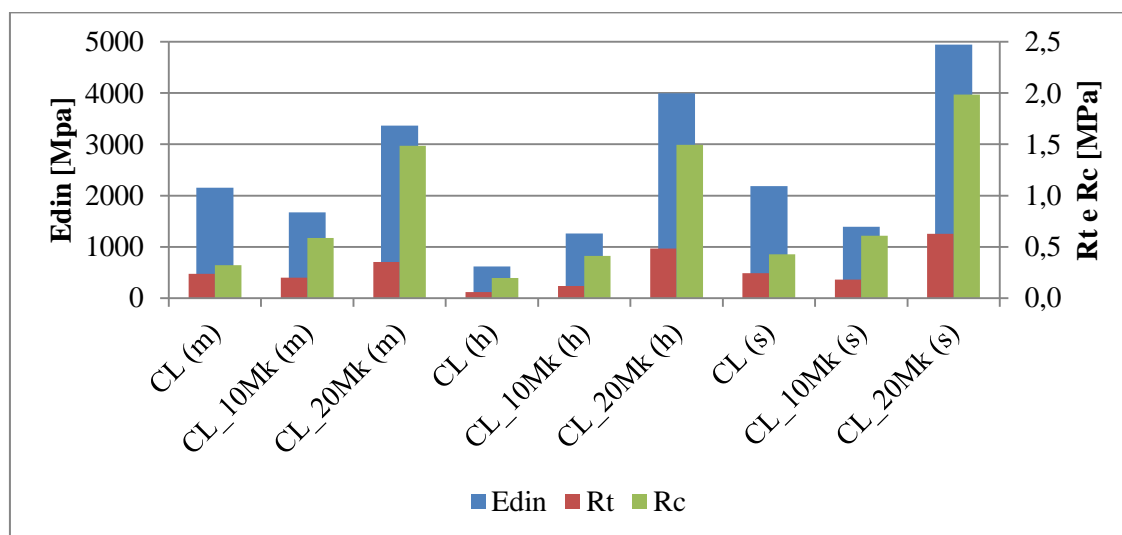


Figura 5.3 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 28 dias

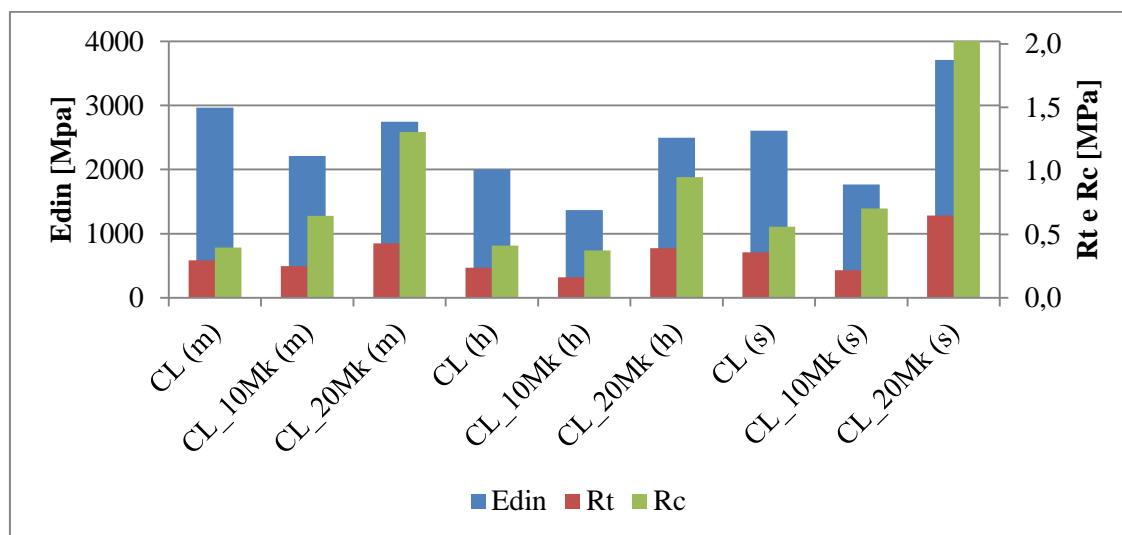


Figura 5.4 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 90 dias

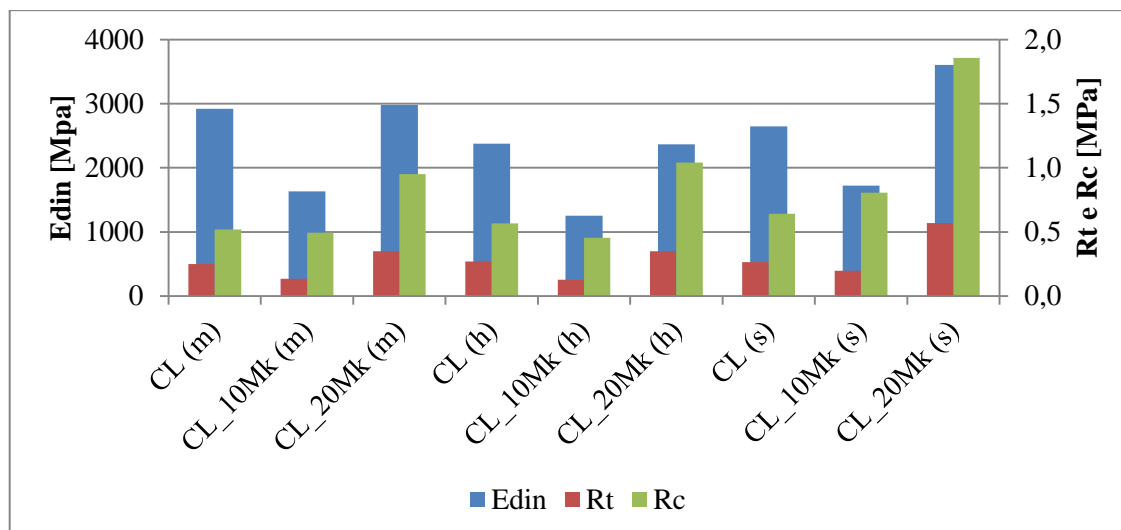


Figura 5.5 – Comparação de parâmetros mecânicos aos 180 dias

### 5.1.3. Comportamento face à água

É importante conhecer este comportamento, especialmente no que se refere ao binário absorção/secagem de uma argamassa, pois é a análise em conjunto destas características que vai mostrar a sua competência.

A Figura 5.6, a Figura 5.7 e a Figura 5.8 apresentam a comparação de valores de índice de secagem, que reflecte a capacidade de secagem a longo prazo (até à estabilização), e o valor assintótico, que não é mais do que o valor máximo de água absorvida pelos provetes.

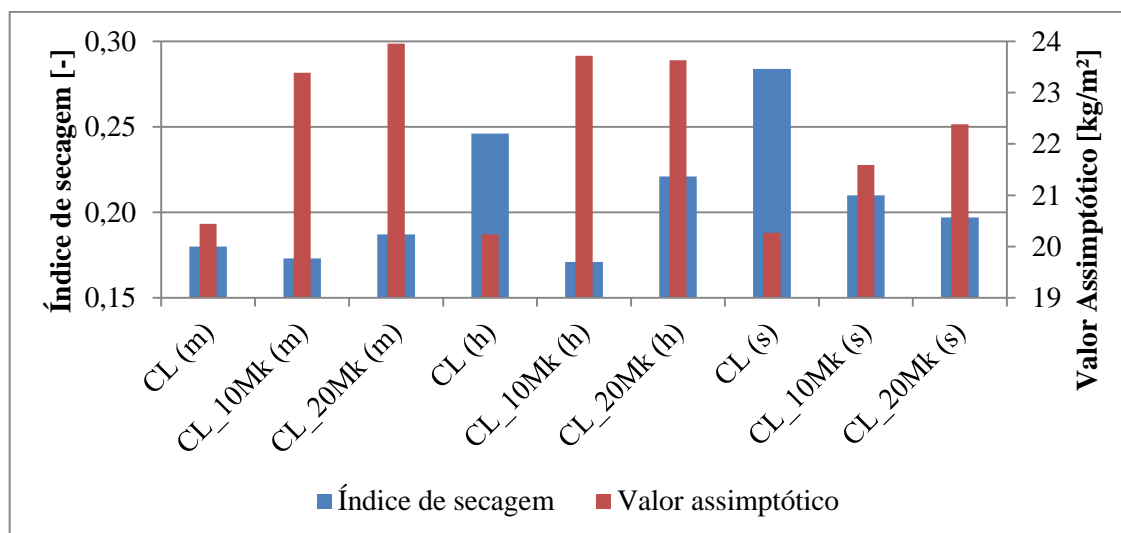


Figura 5.6 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 28 dias

É possível observar-se, na maioria dos casos, a relação inversa entre os dois parâmetros.

O comportamento é tanto melhor quanto mais baixo for o índice de secagem e menor for o valor assintótico. Isto significa que a argamassa com melhor conjugação de valores aos 28 dias é a CL (m), aos 90 dias é a CL (h) e aos 180 dias já é necessário averiguar a importância de cada parâmetro. À idade mais avançada temos o exemplo da argamassa CL\_20Mk (h) que demonstra ter

o melhor comportamento face à secagem a longo prazo, mas o pior comportamento face à secagem inicial, uma vez que é a que absorve maior quantidade de água.

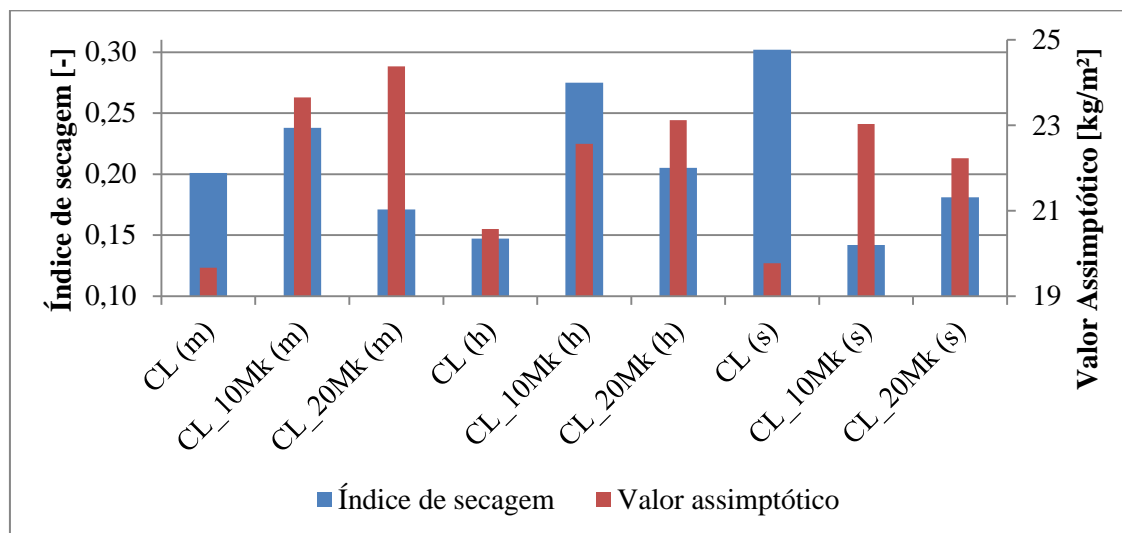


Figura 5.7 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 90 dias

Na Figura 5.9, na Figura 5.10 e na Figura 5.11 encontram-se conciliados os valores correspondentes ao coeficiente de capilaridade, que espelha a absorção nos primeiros minutos de absorção por capilaridade, e a taxa de secagem, que traduz o comportamento em relação às primeiras horas de secagem.

Nesta consegue-se visualizar uma afinidade contrária entre os dois valores, sendo comum a todas as curas aos 180 dias.

A situação ideal de comportamento nas argamassas é um valor alto de taxa de secagem, em consonância com um valor baixo de coeficiente de capilaridade.

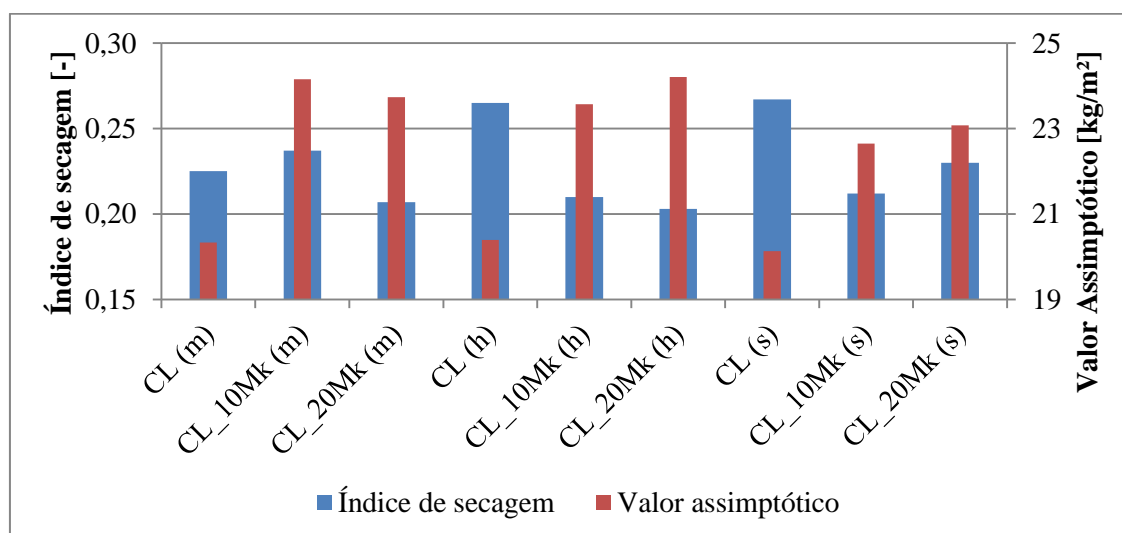


Figura 5.8 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico aos 180 dias

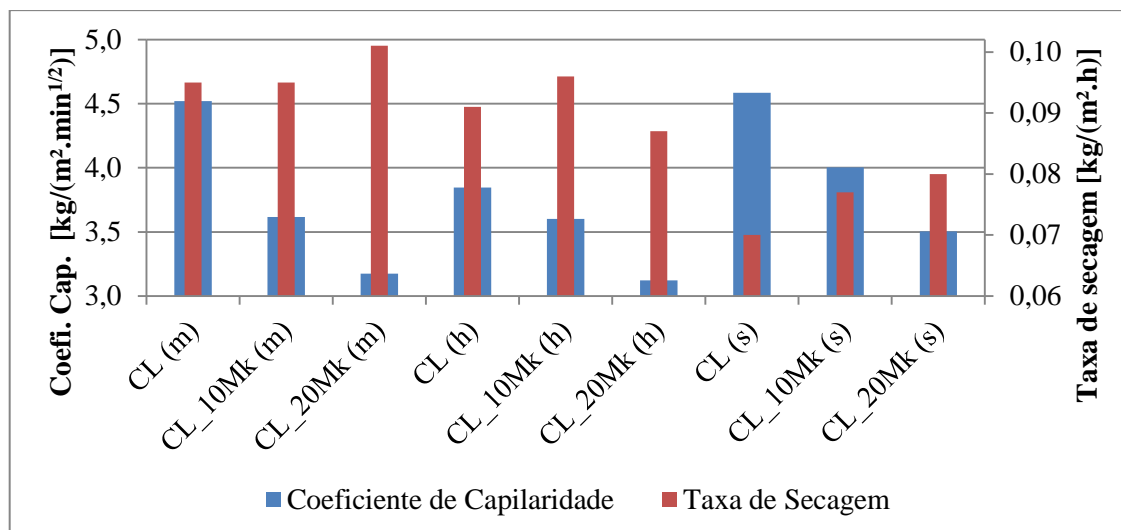


Figura 5.9 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 28 dias

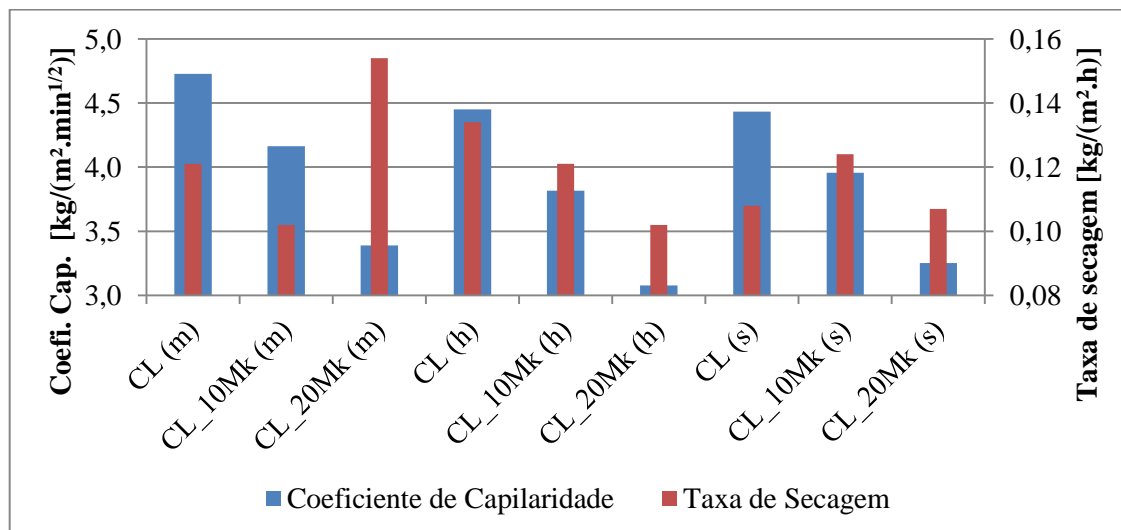


Figura 5.10 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias

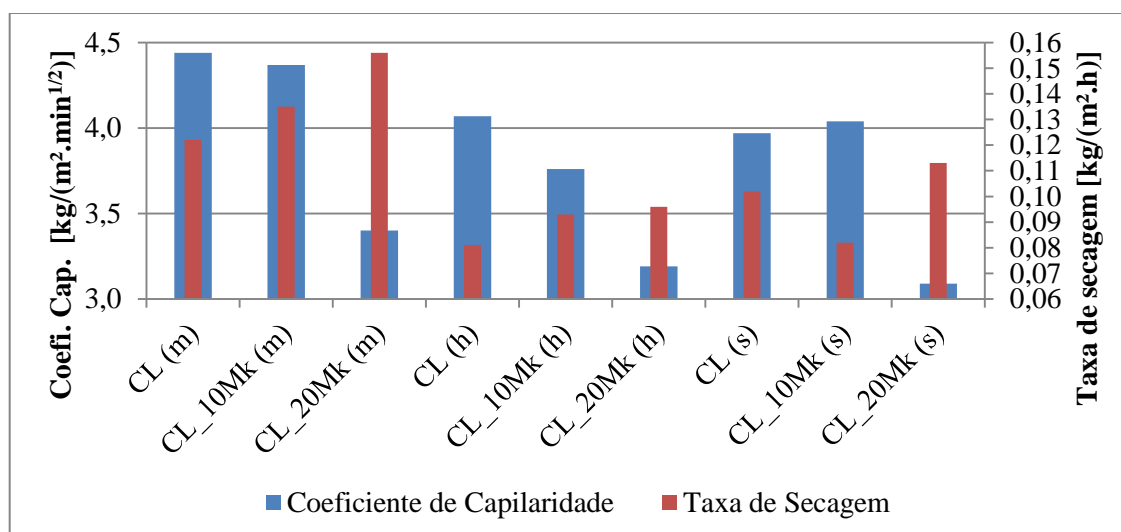


Figura 5.11 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 180 dias

Devido à necessidade de relacionar a absorção e secagem de água, Grilo (Grilo, 2013) estabeleceu um parâmetro que relaciona a taxa de secagem com a absorção por capilaridade. Esse parâmetro é designado por Aqua Behaviour e é fornecido pela equação:

$$AB = \frac{TS}{CC}$$

Equação 5.1

Onde,

AB [h<sup>0.5</sup>]: Aqua Behaviour;

TS [kg/(m<sup>2</sup>.h)]: taxa de secagem;

CC [kg/(m<sup>2</sup>.h<sup>1/2</sup>)]: coeficiente de capilaridade.

Este parâmetro não tem grande significado analisado individualmente mas é relevante quando comparado directamente entre argamassas. As características das argamassas são tanto melhores quanto maior o valor de AB, o que significa que, independentemente da velocidade de absorção de água por capilaridade, o reboco seca mais rapidamente.

Na Figura 5.12 representa-se a evolução dos valores de AB com a idade.

Através da Figura 5.12 pode-se concluir que, relativamente a este comportamento, a argamassa melhor a todas as idades é a CL\_20Mk (m) e que de uma forma geral as argamassas com maior teor de metacaulino são mais favoráveis.

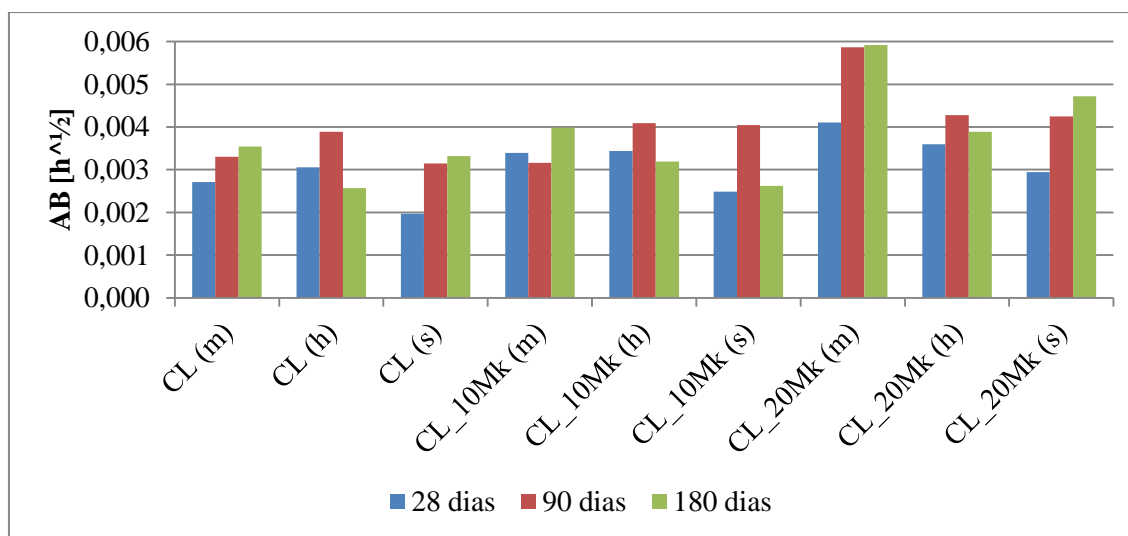


Figura 5.12 – Aqua Behaviour de todas as argamassas aos 28, 90 e 180 dias

#### 5.1.4. Porosidade aberta e massa volúmica aparente

A Figura 5.13, a Figura 5.14 e a Figura 5.15 englobam os valores dos ensaios de porosidade aberta e massa volúmica aparente de forma a compará-los.

Uma vez que estes ensaios são feitos em conjunto, a cada idade, é expectável que os seus resultados sejam coerentes. A importância cresce tendo em conta que não foi possível efectuar o dispendioso ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, que viria a confirmar com mais preci-

são estes mesmos resultados mas provavelmente se demonstraria desnecessário face a este ensaio, considerado um método fiável (Grilo, 2013).

A comparação destes ensaios demonstra claramente uma relação oposta entre os dois valores, aumentando a porosidade aberta com o aumento do teor de metacaulino mas diminuindo com a idade. Já em relação à massa volúmica aparente pode dizer-se que esta diminui com a quantidade de metacaulino e aumenta com o tempo de cura. Como concluiu Grilo (Grilo, 2013), os valores de Pab foram na generalidade idênticos entre as curas e com tendências de decrescer com a idade e a crescer com o teor de Mk. Por oposição evoluíram os valores de MVA com valores idênticos entre curas mas com tendências a crescer com a idade e a decrescer com o Mk, o leva a concluir que a inclusão Mk aumenta ligeiramente a Pab e, como tal, diminui também ligeiramente a MVA.

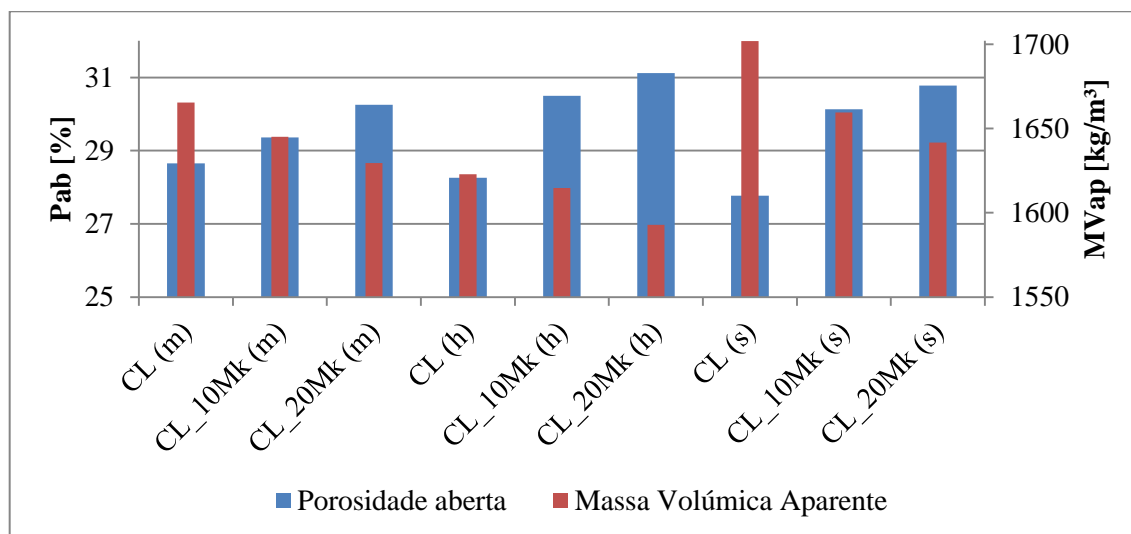


Figura 5.13 – Comparação entre porosidade aberta e massa volúmica aparente aos 28 dias

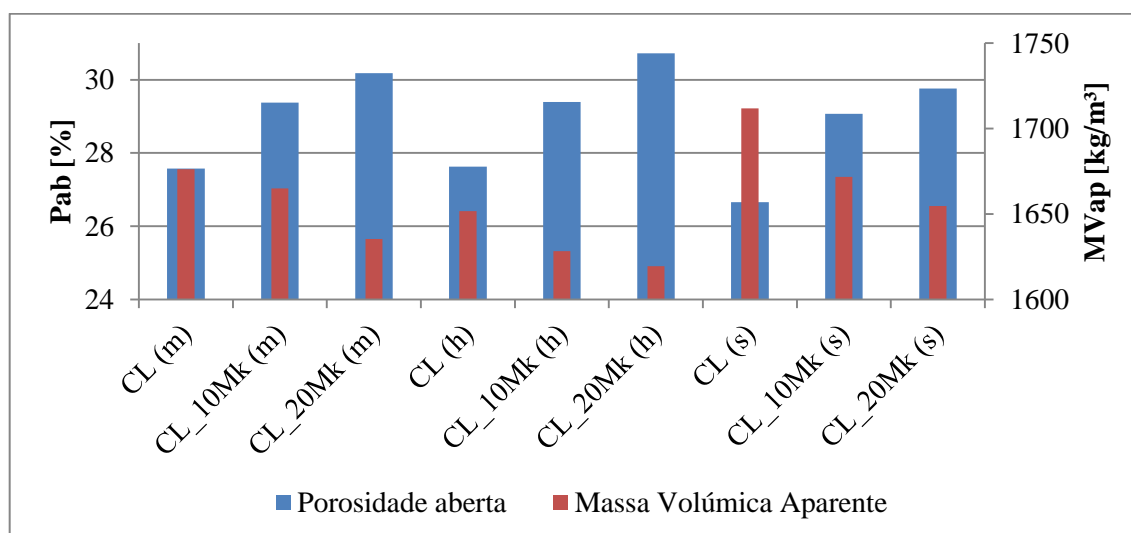


Figura 5.14 – Comparação entre porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 90 dias

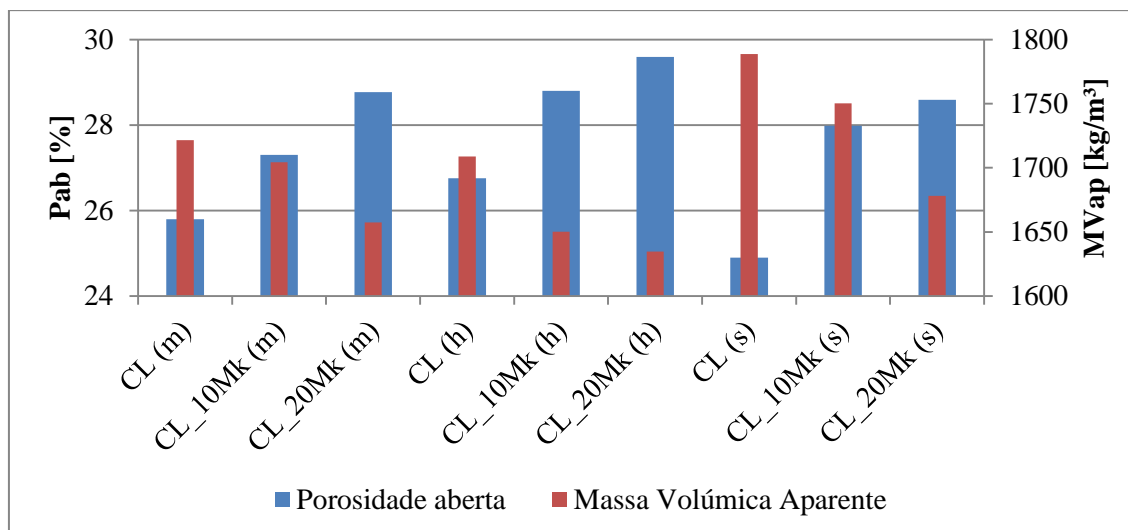


Figura 5.15 – Comparação entre porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 180 dias

### 5.1.5. Condutibilidade térmica: provetes em suporte de tijolo vs. prismáticos

Os valores médios de condutibilidade térmica, correspondentes aos provetes de suporte em tijolo e prismáticos aos 28, 90 e 180 dias, são apresentados na Figura 5.16, na Figura 5.17 e na Figura 5.18.

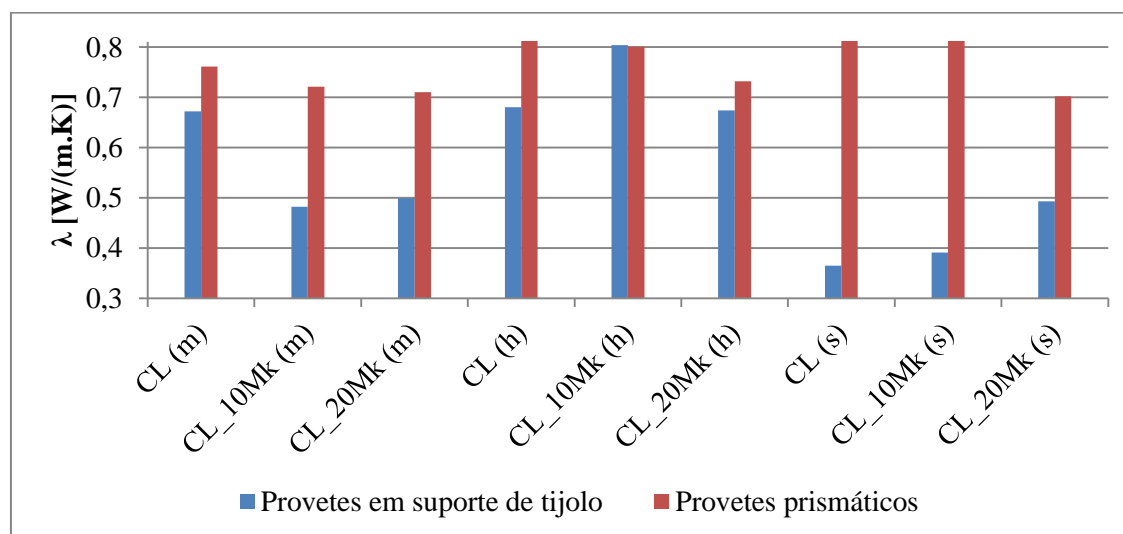


Figura 5.16 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 28 dias

Os valores recolhidos neste ensaio são díspares para as mesmas argamassas quando estas se encontram na forma de provetes prismáticos ou aplicadas em suporte de tijolo, chegando mesmo a observar-se que a argamassa CL (s) aos 180 dias apresenta o valor mais elevado dos provetes prismáticos e o mais baixo dos provetes em suporte de tijolo.

Estas diferenças, verificadas para o mesmo ensaio, a mesma idade, a mesma cura e argamassa, devem-se ao tipo de provete.



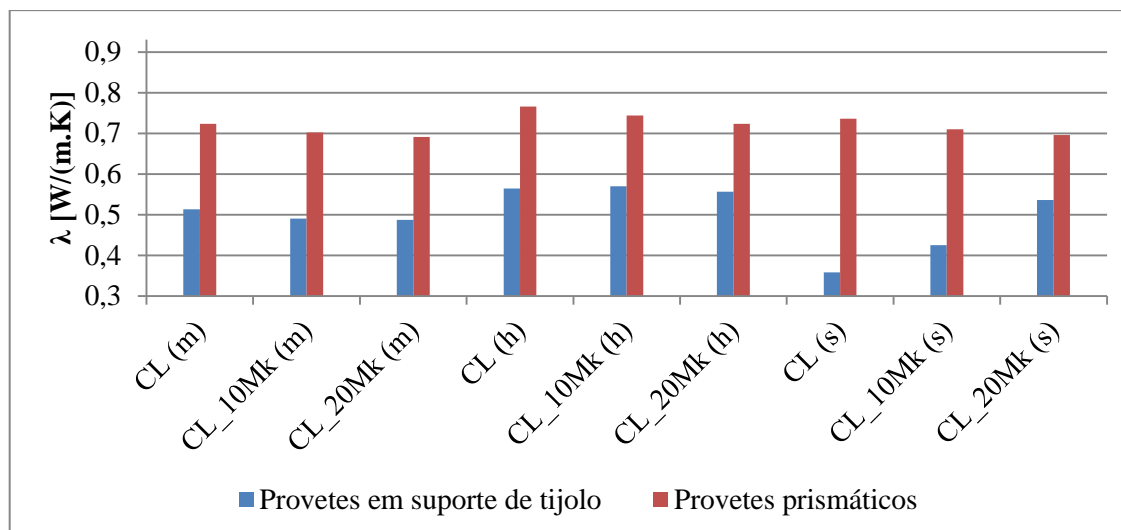


Figura 5.17 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 90 dias

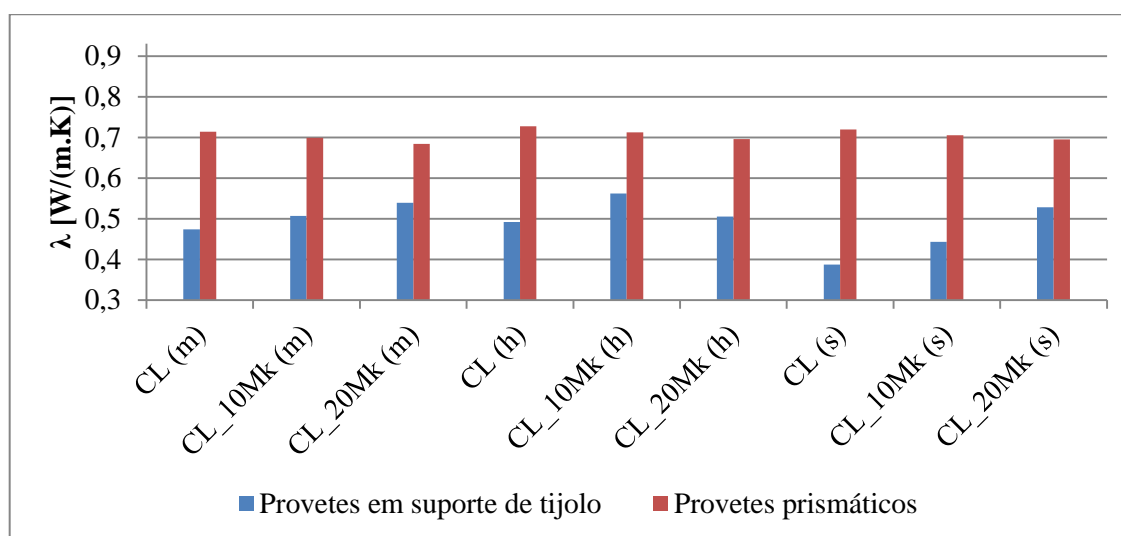


Figura 5.18 – Comparação entre valores de condutibilidade térmica em provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias

Enquanto as dimensões dos provetes prismáticos não permitem um contacto total do provete com a área da sonda e a sua superfície é menos rugosa, a argamassa aplicada nos tijolos não possui a espessura indicada de 2 cm e é mais rugosa. Tendo em conta o valor de condutibilidade térmica apresentado no ITE50 (Pina dos Santos e Matias, 2006) para argamassas e rebocos de cal e areia de 0,80 W/(m.°C) e os desvios padrão serem consideravelmente menores, verifica-se que a proximidade dos valores retirados dos provetes prismáticos, quer para as argamassas de referência, quer para as outras, é bastante maior, o que leva a crer que sejam estes os valores mais próximos da realidade. No entanto o tipo de areia utilizado nas argamassas pode ter aqui um papel muito importante.

Os valores obtidos nos provetes prismáticos, para além do já referido, estão de acordo com um estudo em argamassas de cal aérea e metacaulino, que conclui que a quantidade de metacaulino influencia os valores de condutibilidade térmica, diminuindo-a. Este estudo acrescenta ainda que

isto aparentemente se deve à maior porosidade do metacaulino em relação à cal aérea, que altera a microestrutura da argamassa (Černý *et al.*, 2006).

Além da disparidade de valores também é visível que não há qualquer tipo de relação nas tendências observadas nos dois tipos de provetes.

### 5.1.6. Porosidade aberta e condutibilidade térmica

A Figura 5.19, a Figura 5.20 e a Figura 5.21 contêm a comparação dos resultados dos ensaios de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 28, 90 e 180 dias, respectivamente.

A comparação destes valores mostra a relação inversa entre eles. O aumento da porosidade influencia a condutibilidade térmica, diminuindo-a. Isto reflecte o facto da condução de calor através do ar ser consideravelmente menor que pela argamassa; logo, se há mais porosidade há também mais ar, o que leva a valores menores captados pela sonda.

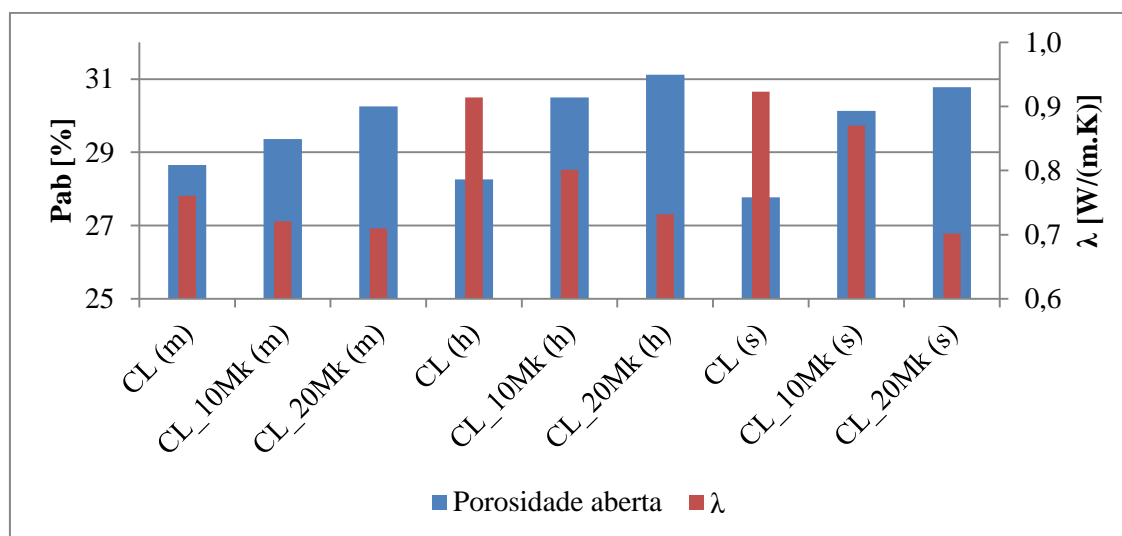


Figura 5.19 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 28 dias

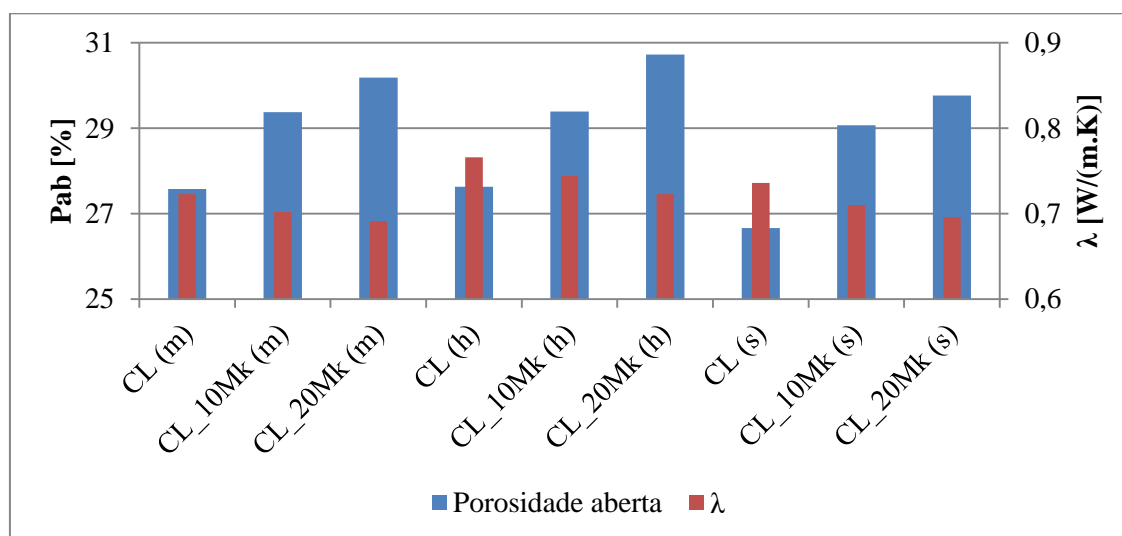


Figura 5.20 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 90 dias

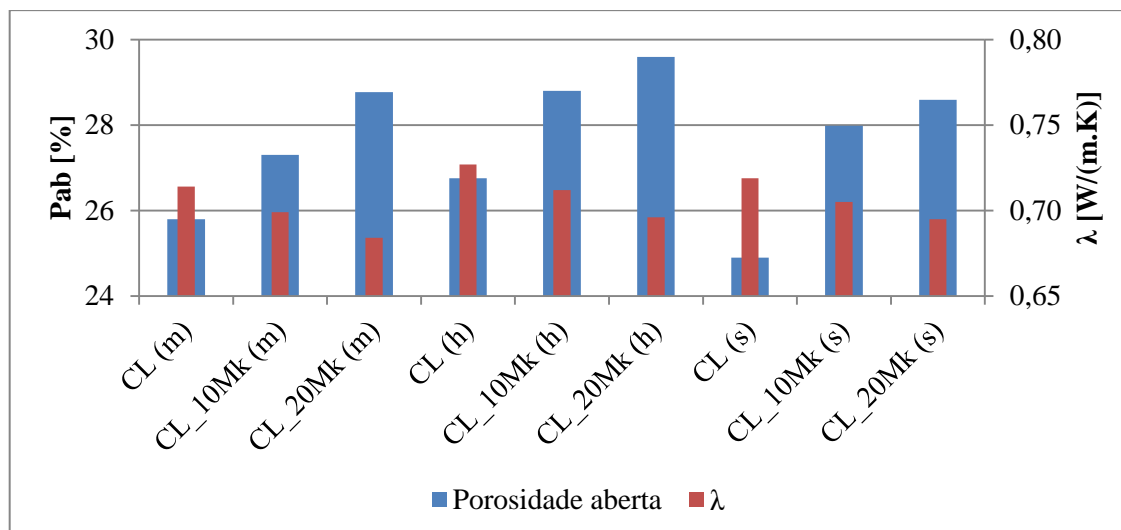


Figura 5.21 – Comparação entre valores de porosidade aberta e condutibilidade térmica aos 180 dias

Um estudo anterior sobre argamassas com base em cal e areia ao traço 1:3 e com substituição em massa de 20% de ligante por metacaulino, concluiu, em concordância com os resultados obtidos nesta dissertação, que as argamassas com maior porosidade levavam a condutibilidades térmicas mais baixas (Vejmelková *et al.*, 2012).

#### 5.1.7. Porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos

Estes valores não são confrontados aos 28 dias porque nessa idade não se averiguou a quantidade inicial de sulfatos retida nos provetes.

A Figura 5.22 e a Figura 5.23 mostram a relação directa entre estes valores. À medida que a porosidade aberta aumenta, aumenta também a quantidade de sulfatos retidos no 1º ciclo.

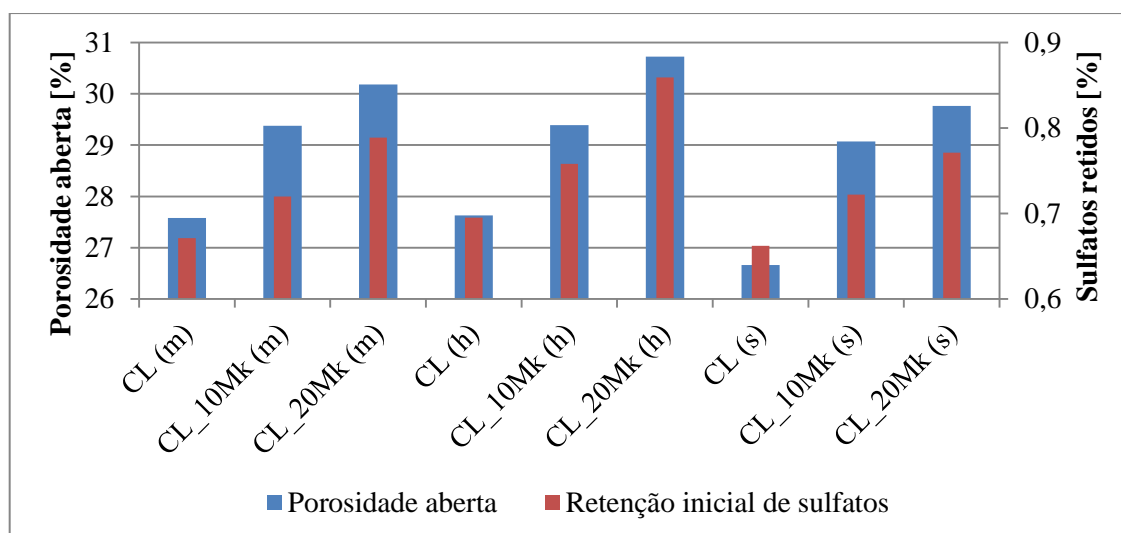


Figura 5.22 – Comparação entre valores de porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos aos 90 dias

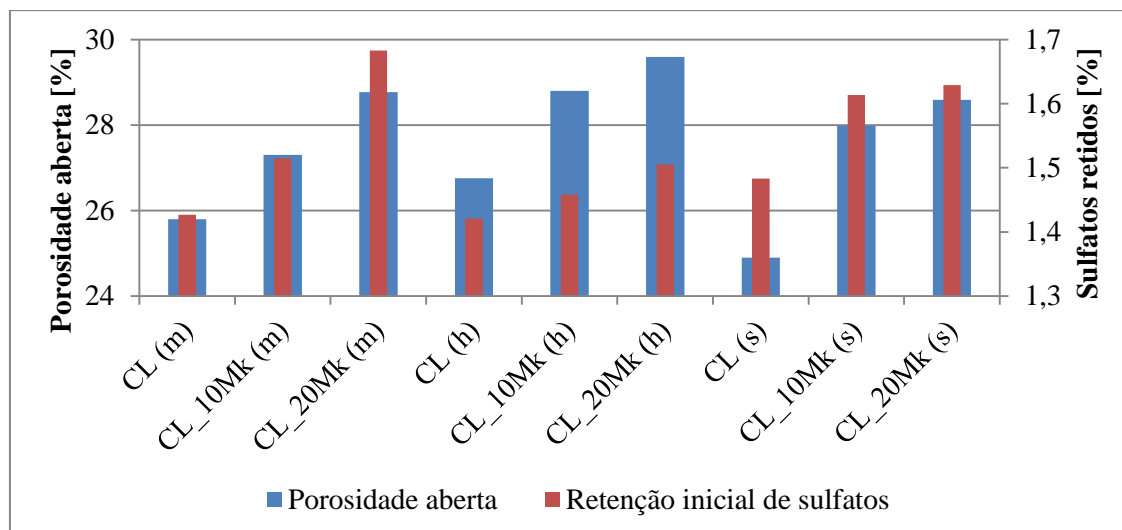


Figura 5.23 – Comparação entre valores de porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos aos 180 dias

### 5.1.8. Rc/Rt e resistência aos sulfatos

Por uma questão de simplificação da observação do gráfico, os valores de variação de massa positivos, provocados pela retenção de sulfatos, considera-se nula.

Estudo prévios concluíram que quanto menor o rácio entre resistência à compressão e resistência à tracção, maior deformabilidade indicavam as argamassas de cal aérea (Moropoulou *et al.*, 2005 - Briccoli e Rovero, 1997).

A Figura 5.24, a Figura 5.25 e a Figura 5.26 mostram a comparação dos valores de perda de massa ao 10º ciclo de ataque por sulfatos e o rácio entre resistência à compressão e resistência à tracção. É possível constatar, com maior ou menor facilidade, a afinidade entre os dois valores, ou seja, quando a relação Rc/Rt aumenta a perda de massa é maior, entre argamassas da mesma cura.

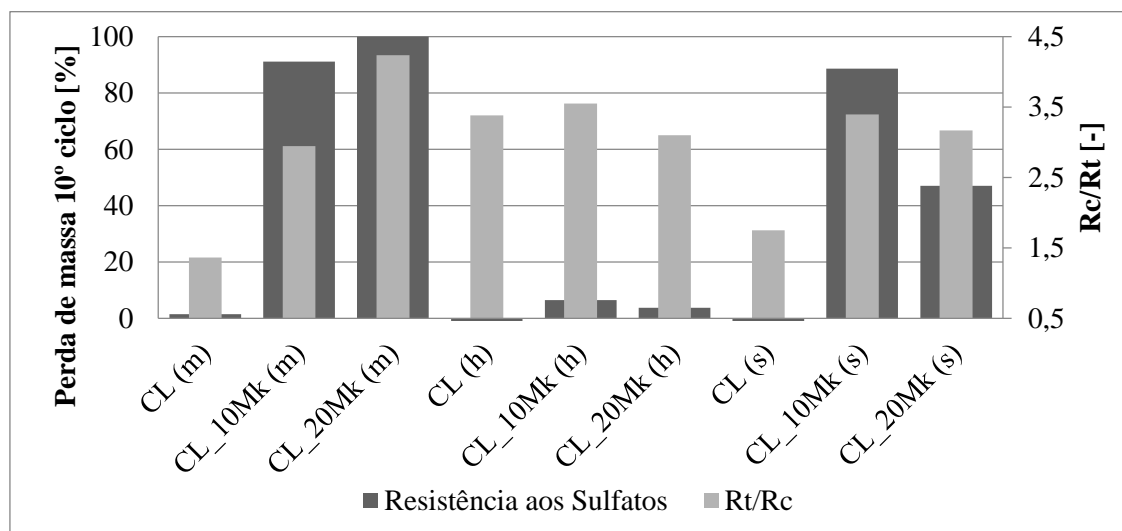


Figura 5.24 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio Rc/Rt aos 28 dias

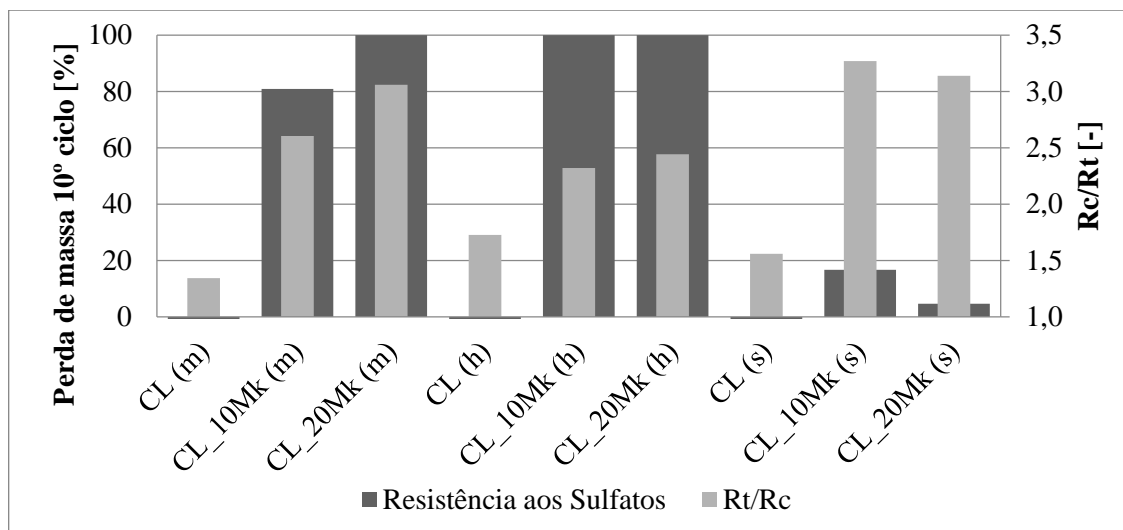


Figura 5.25 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio Rc/Rt aos 90 dias

Escolheu-se o 10º ciclo por ser mais representativo do que o fim do ensaio que revela a perda de massa total em grande parte das argamassas.

As argamassas com um valor maior de rácio Rc/Rt são as que tiveram uma rotura mais brusca no ensaio de resistência aos sulfatos.

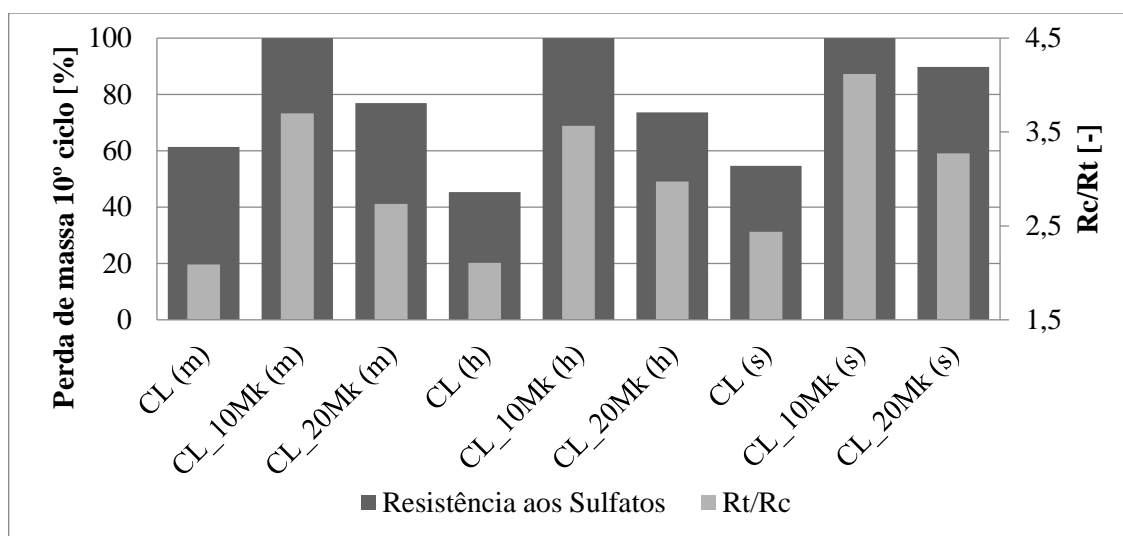


Figura 5.26 – Comparação entre valores de perda de massa ao 10º ciclo e rácio Rc/Rt aos 180 dias

### 5.1.9. Classificação das argamassas segundo a norma EN 998-1

É importante fazer a classificação das argamassas do ponto de vista da norma em vigor (Quadro 5.4) pois em termos oficiais é o que prevalece. Como as argamassas não tem adjuvantes nem agregados leves são classificadas do ponto de vista do coeficiente de capilaridade na classe mais baixa (Classe W 0) e não são classificadas em termos térmicos. Relativamente à resistência à compressão, verifica-se que as argamassas só de cal aérea nas curas marítima e húmida não apresentam os valores mínimos necessários para serem classificadas segundo esta norma e que apenas a argamassa com 20% de substituição em metacaulino em cura standard é classificada na classe CS II. Todas as restantes são classificadas como CS I.

Quadro 5.4 – Classificação das argamassas segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010)

Argamassas	Classificação					
	Rc [MPa]		CC [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]		$\lambda$ [w/(m.K)]	
	28 dias	Categoria	28 dias	Categoria	28 dias	Categoria
CL (m)	0,322	-	4,52	W 0	0,761	-
CL_10Mk (m)	0,588	CS I	3,62	W 0	0,766	-
CL_20Mk (m)	1,487	CS I	3,17	W 0	0,736	-
CL (h)	0,197	-	3,85	W 0	0,721	-
CL_10Mk (h)	0,412	CS I	3,60	W 0	0,698	-
CL_20Mk (h)	1,494	CS I	3,12	W 0	0,658	-
CL (s)	0,426	CS I	4,59	W 0	0,710	-
CL_10Mk (s)	0,609	CS I	4,00	W 0	0,723	-
CL_20Mk (s)	1,987	CS II	3,50	W 0	0,705	-

### 5.1.10. Verificação das características das argamassas para utilização em edifícios antigos

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, resistências à tracção e compressão e coeficiente de capilaridade (Quadro 5.3) com os valores da gama indicativa proposta por Veiga (Veiga *et al.*, 2010) (Quadro 2.3), elabora-se o Quadro 5.5 que confere a verificação (v) ou não (x) das características, para a aplicação de argamassas em edifícios antigos e serve igualmente para que melhor se possa entender a influência do coeficiente da capilaridade na não verificação de características para os diferentes tipos de aplicação das argamassas, nomeadamente em rebocos exteriores.

Quadro 5.5 – Verificação das características das argamassas para aplicação em revestimento para edifícios antigos (Veiga *et al.*, 2010)

Argamassas	Verificação características aos 90 dias			Verificação características aos 90 dias, sem CC		
	Reb. Ext.	Reb. Int.	Ref. juntas	Reb. Ext.	Reb. Int.	Ref. juntas
CL (m)	x	x	x	x	x	x
CL_10Mk (m)	x	v	x	v	v	x
CL_20Mk (m)	x	v	x	v	v	x
CL (h)	x	v	x	v	v	x
CL_10Mk (h)	x	x	x	x	x	x
CL_20Mk (h)	x	v	x	v	v	x
CL (s)	x	v	x	v	v	x
CL_10Mk (s)	x	x	x	x	x	x
CL_20Mk (s)	x	v	x	v	v	v

De acordo com o definido no Quadro 2.3, as características das argamassas para aplicação em rebocos interiores ou exteriores apenas diferem na exigência do valor de coeficiente de capilaridade, que no caso das argamassas estudadas são elevados, o que faz com que a única razão pela qual as argamassas que podem ser utilizadas em rebocos interiores não possam ser usadas nos rebocos exteriores é o valor deste coeficiente. Esta questão pode ser ultrapassada uma vez que este pode ser melhorado o coeficiente de capilaridade pela optimização da mistura de areias, através do aumento da quantidade de areia de granulometria mais fina (APAS 30), que melhoraria o valor deste parâmetro

No caso da utilização em refechamento de juntas, apenas CL\_20Mk (s) cumpre todos os outros requisitos, não tendo em consideração o valor de coeficiente de capilaridade.

Uma vez que o único tipo de utilização que cumpriu os requisitos foi em rebocos interiores, segundo Henriques e Faria (Henriques e Faria, 2008), esta função requer boa dureza superficial (Quadro 2.4). Pela análise do Quadro 4.7 e a observação da Figura 4.2 sabe-se que as argamassas com maior dureza superficial, a esta idade, são a CL\_20Mk (m) e (s), logo, demonstram bons indícios para serem utilizadas em rebocos interiores.

## **5.2. Comparação de valores obtidos com os obtidos por outros autores**

Os valores obtidos na presente dissertação podem ser comparados com inúmeros resultados obtidos por outros autores, que também caracterizaram argamassas de cal aérea com metacaulino. No entanto optou-se por apenas comparar com resultados de autores que utilizaram materiais idênticos, dado o seu número considerável.

Neste subcapítulo optou-se por não realizar comparações de ensaios que apresentassem valores considerados de gamas diferentes entre argamassas de referência. Significa isto que, no caso de se concluir, logo aos 28 dias, que não faz sentido a comparação desses ensaios, os mesmos não são considerados às outras idades.

### **5.2.1. Comparação de características de argamassas em cura húmida**

Como referido anteriormente, Branco (Branco, 2013) e Bandeira (Bandeira, 2012) realizaram argamassas com os mesmos materiais mas as argamassas com metacaulino apresentam 30% e 50% de substituição. Foram sujeitas a cura húmida. O primeiro caracterizou as argamassas aos 28 e 90 dias e o segundo, aos 180 dias. Nesta secção, as argamassas do presente estudo e as resultantes dos estudos de Branco e Bandeira são apresentadas nas figuras com cores distintas. As designações são alteradas para corresponder à lógica do trabalho actual e a denominação da cura, (h), desaparece, com excepção da argamassa de referência, para que se possa distinguir.

A relação Água/(CL+Mk) é idêntica nos dois trabalhos.

É importante recordar que em alguns ensaios a mudança de operador tem influência no resultado, assim como a utilização de cal aérea pertencente a um lote diferente.

No entanto, o factor decisivo na variação dos valores dos resultados é, sem dúvida, a variação das condições onde os provetes se encontravam antes de serem colocados em cura húmida. Enquanto os provetes da presente dissertação foram moldados, colocados no interior de sacos de polietileno e desmoldados ao fim de 7 dias, os provetes de Branco (Branco, 2013), sem metacaulino, foram moldados, colocados no interior de sacos de polietileno, mantidos nos sacos até se perfazerem 6 dias, após o que foram retirados dos sacos e colocados em cura standard durante 3 dias, findo esse período procedeu-se à desmoldagem. No caso das argamassas com metacaulino os provetes foram moldados, colocados no interior de sacos de polietileno e desmoldados ao fim de 6 dias, o que já se assemelha, quase totalmente, ao efectuado no presente estudo.

Recordando estas situações interessa comparar directamente os resultados obtidos nas argamassas de referência, uma vez que têm a mesma constituição e depois sim, comparar os resultados em função da evolução do teor de metacaulino.

### 5.2.1.1 Parâmetros mecânicos

A Figura 5.27, a Figura 5.28 e a Figura 5.29 contêm a comparação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 28, 90 e 180 dias.

- **28 dias**

Antes da comparação em termos de teores de metacaulino é imprescindível fazer-se a comparação entre as argamassas de referência dos três ensaios, cuja composição é idêntica.

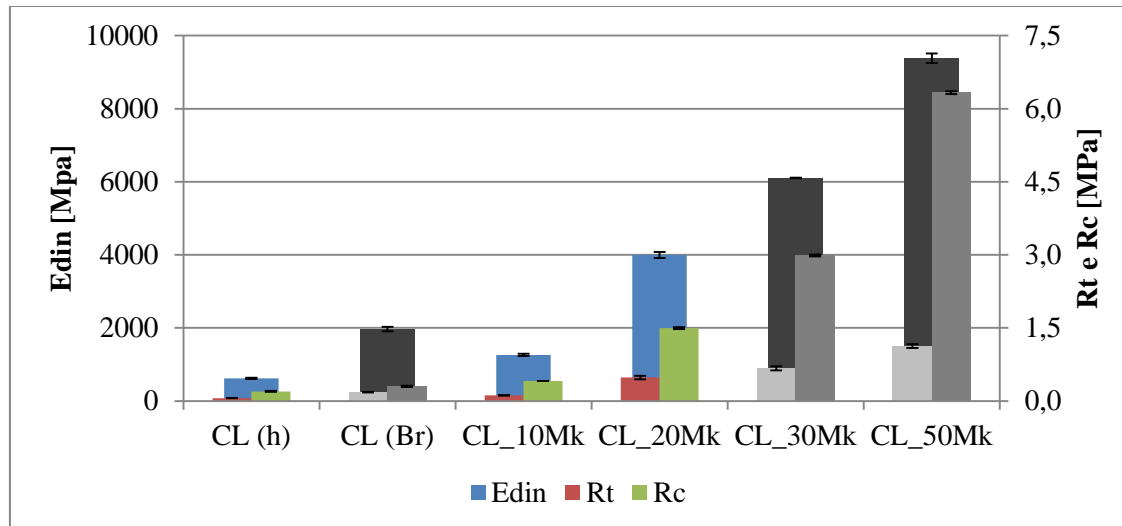


Figura 5.27 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 28 dias

Aos 28 dias observam-se diferenças bastante elevadas entre as argamassas CL. Como já foi dito no início desta secção, isso deve-se maioritariamente às diferenças apuradas ao nível da fase prévia à inserção em cura húmida.

As argamassas só de cal aérea têm maior dificuldade em fazer presa em presença de água e, no caso de CL (Br), a passagem pelas condições de cura standard permitem-lhe a perda, com maior



facilidade, da água proveniente das amassaduras, conferindo circunstâncias mais propícias ao seu endurecimento.

Significa isto, que há justificação para as diferenças observadas entre as argamassas sem pozolanas, sendo as restantes directamente comparáveis entre si.

No que diz respeito à evolução dos valores com o aumento do teor de metacaulino é perfeitamente visível o incremento das resistências mecânicas e do módulo de elasticidade, através de uma inclinação bem delineada.

É interessante atentar, no Quadro 5.6, que a variação dos valores dos vários ensaios de cura húmida aos 28 dias é idêntica, qualquer que seja o parâmetro analisado (excluindo CL (Br)).

Quadro 5.6 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 28 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	28 dias		
CL (h)	-	-	-
CL (Br)	69	68	34
CL_10Mk	51	50	52
CL_20Mk	85	88	87
CL_30Mk	90	91	93
CL_50Mk	93	95	97

- **90 dias**

Aos 90 dias é visível um aumento mais atenuado entre as argamassas de referência. As diferenças iniciais vão-se esbatendo ao longo do tempo, sobretudo no caso de argamassas sem metacaulino, cujas resistências são crescentes ao longo do tempo.

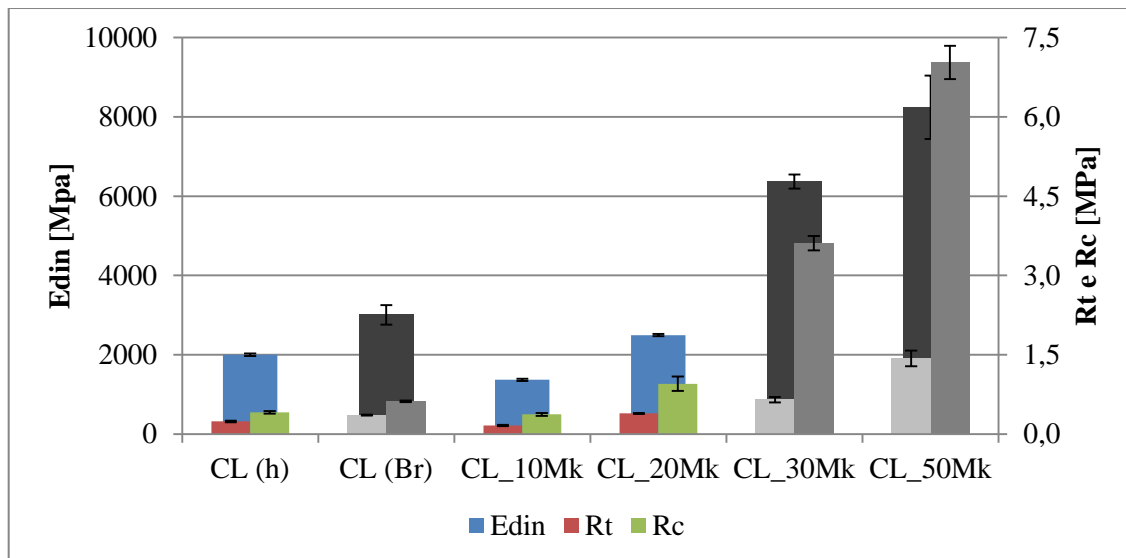


Figura 5.28 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 90 dias

Em relação à tendência verificada com o aumento do valor de substituição de metacaulino, esta mantém-se, excepto na argamassa CL\_10Mk, ou seja, os parâmetros crescem.

No Quadro 5.7 pode ver-se que a variação do módulo de elasticidade dinâmico e da resistência à tracção são da mesma ordem de grandeza excepto na argamassa com 10% de metacaulino que é perto do dobro.

Quadro 5.7 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 90 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	90 dias		
CL (h)	-	-	-
CL (Br)	33	34	34
CL_10Mk	-47	-48	-10
CL_20Mk	20	39	57
CL_30Mk	69	63	89
CL_50Mk	76	83	94

- **180 dias**

Ao atingirem os 180 dias de cura, os efeitos dos tratamentos distintos dos provetes em pré-cura húmida parecem já se ter diluído, uma vez que os valores já se encontram próximos e a resistência à tracção de CL (h) chega mesma a atingir valores mais elevados do que CL (Br).

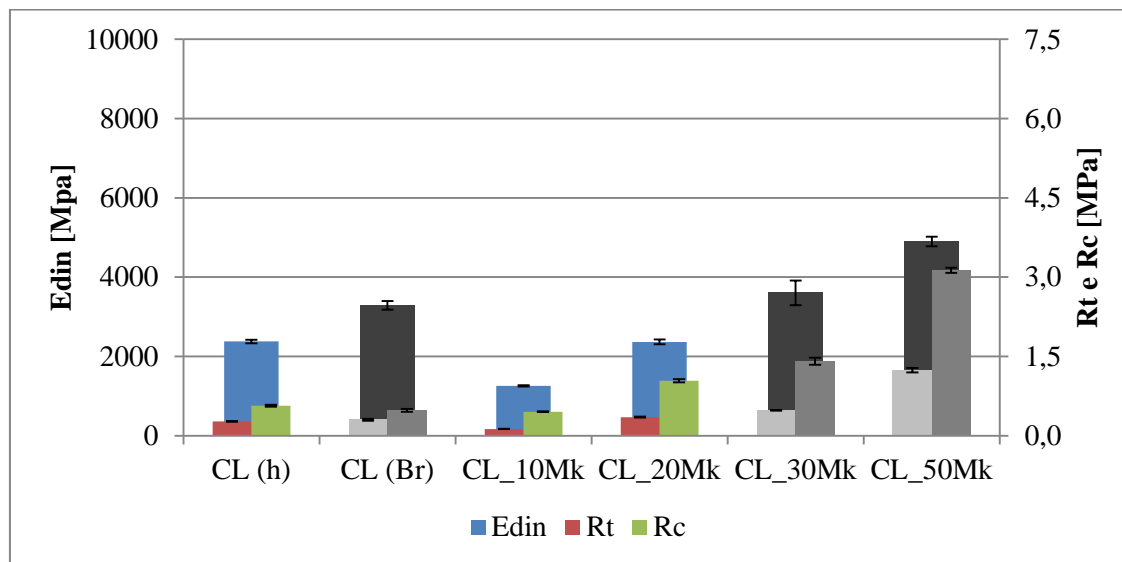


Figura 5.29 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida aos 180 dias

Nesta idade (Quadro 5.8) a vocação dos valores preserva-se em relação aos 90 dias, excluindo o módulo de elasticidade dinâmico de CL (h), que é ligeiramente superior ao mesmo valor de CL\_20Mk.

Quadro 5.8 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura húmida, em relação a CL (h), aos 180 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	180 dias		
CL (h)	-	-	-
CL (Br)	28	10	-18
CL_10Mk	-89	-111	-25
CL_20Mk	0	23	46
CL_30Mk	34	44	60
CL_50Mk	52	78	82

### 5.2.1.2 Comportamento face à água

O ensaio de capilaridade e de secagem foram realizados de modo distintos por Branco (Branco, 2013) aos 28 e 90 dias. Dessa forma, a comparação dos valores de taxa de secagem aos 28 dias e de coeficiente de capilaridade aos 28 e 90 dias com os valores obtidos neste estudo não se adequa. Embora os valores de índice de secagem e de valor assintótico também decorram de metodologia de ensaio distinta, vai apresentar-se a comparação entre valores.

- **28 dias**

Na Figura 5.30 apresenta-se a comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida.

As argamassas CL (h) e CL (Br) apresentam uma diferença da média dos valores de sensivelmente  $3 \text{ kg/m}^2$ . Este parâmetro depende do volume dos provetes, mais precisamente da altura. Devido à sua variabilidade, a importância desta diferença é relativa.

De resto, a argamassa com substituição de 30% apresenta o valor mais elevado e as outras argamassas com metacaulino têm valores da mesma ordem.

Os valores de média de índice de secagem apresentados, na Figura 5.30 e na Figura 5.31, são diferentes dos apresentados anteriormente, pois foi feita uma adaptação para que correspondessem ao ensaio de Branco. Isto significa que os valores correspondem à duração de 361 horas, muito aproximadas das 350 horas aplicadas por Branco.

Apesar de não haver uma concordância citável entre os valores das argamassas de referência, com o aumento do teor de substituição de metacaulino sobem os valores de índice de secagem, o que indica um pior comportamento à secagem a longo prazo.

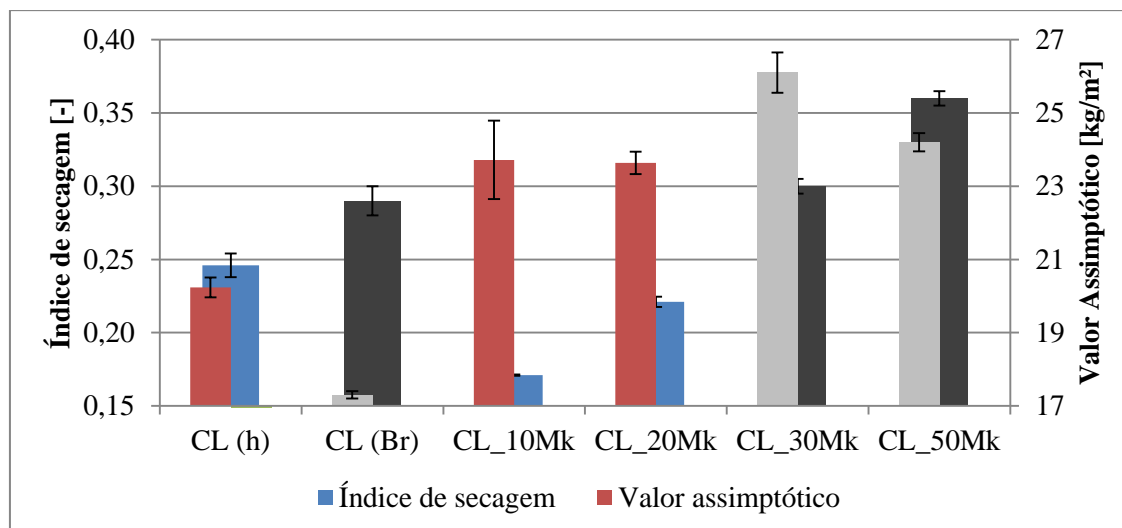


Figura 5.30 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 28 dias

- **90 dias**

A Figura 5.31 possui a comparação entre a média dos valores de índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida.

Em relação ao valor assintótico das argamassas de referência, inverte-se o apurado aos 28 dias, ou seja, o valor mais elevado é obtido por Branco. No seguimento do que já foi referido, não é algo de importância considerável. No entanto, a esta idade, os valores apresentam um pendor de incremento com a ampliação do teor de metacaulino, salvo nos 50%.

Para o índice de secagem, a variação de CL (Br) em relação a CL (h) é de 18%, um valor considerável mas ainda explicável por diferenças na selagem dos provetes com papel aderente, onde, devido à grande duração do ensaio, este pormenor faz diferença. A variação destes valores dentro das argamassas com metacaulino na sua constituição, mostra uma diminuição dos mesmos até ao teor de 30%, onde apresenta estabilização.

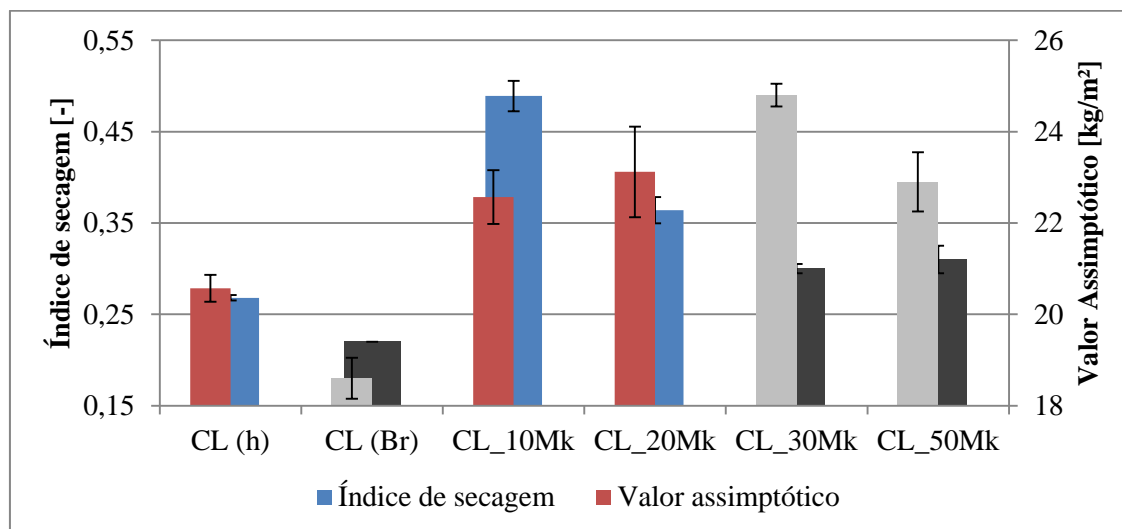


Figura 5.31 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 90 dias

- **180 dias**

Importa recordar que, a esta idade de cura, os resultados apresentados foram obtidos por Bandeira (Bandeira, 2012). Estes mostram que é possível serem relacionados com o presente estudo, para o caso dos valores de taxa de secagem.

Na Figura 5.32 consta a comparação as médias dos valores de taxa de secagem de argamassas de cura húmida.

As argamassas CL (h) e CL (Br) exibem valores muito semelhantes, com os respectivos desvios-padrão a mostrarem que os resultados obtidos estão na mesma gama de valores.

Globalmente é possível observar que os valores tendem a descer até aos 20% de metacaulino e a crescer, a partir daí, até aos 50%. Os valores médios das argamassas CL\_10Mk e CL\_30Mk são idênticos. As argamassas com metacaulino do estudo de Bandeira revelam desvios-padrão elevados quando com parados aos do trabalho corrente.

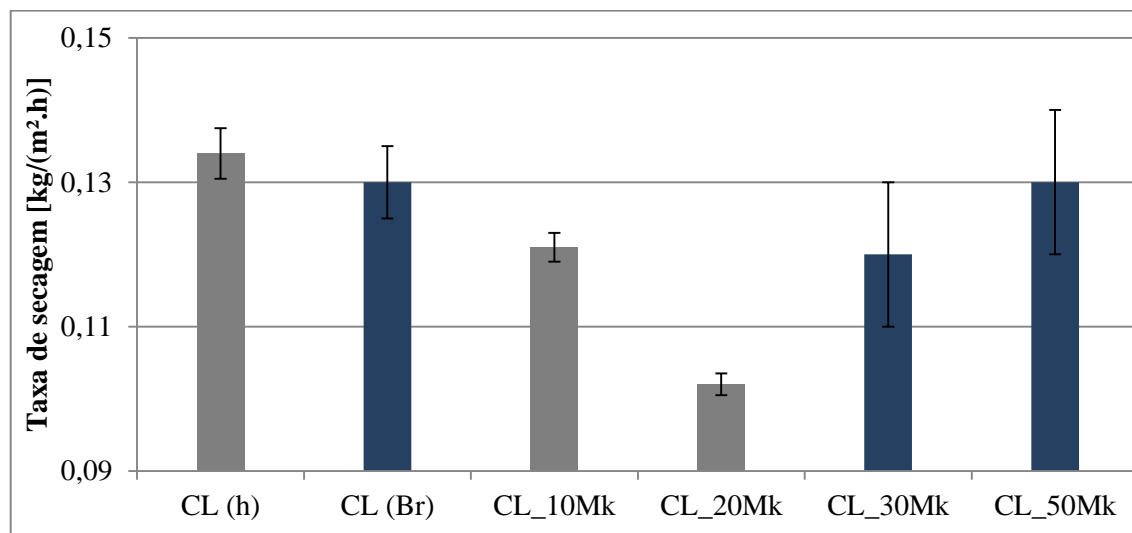


Figura 5.32 – Comparação do valor de taxa de secagem de argamassas em cura húmida aos 90 dias

A Figura 5.33 expõe a comparação entre as médias dos valores de índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida.

As médias dos valores assintóticos das argamassas de referência têm uma diferença que pode ser justificada pela média das alturas dos provetes ensaiados, até pelo desvio-padrão apresentado pela argamassa CL (Br), superior em cerca de três vezes ao à CL (h). Para o caso dos valores das argamassas com metacaulino, a tendência generalizada é um aumento no valor da média com o aumento do teor de metacaulino.

Sobre o índice de secagem, a expressão de cálculo utilizada implica o intervalo de tempo em que o ensaio decorre, tem uma influência tal nos resultados, que a sua comparação com ensaios de duração mais prolongada perde o significado e, sendo a duração executada por Bandeira superior à do presente estudo, já não é possível consonar os valores. Este exemplo é facilmente demonstrado pela diferença em duas argamassas iguais, ensaiadas às mesmas condições, CL (h) e CL (Br), cuja variação é na ordem dos 53%.

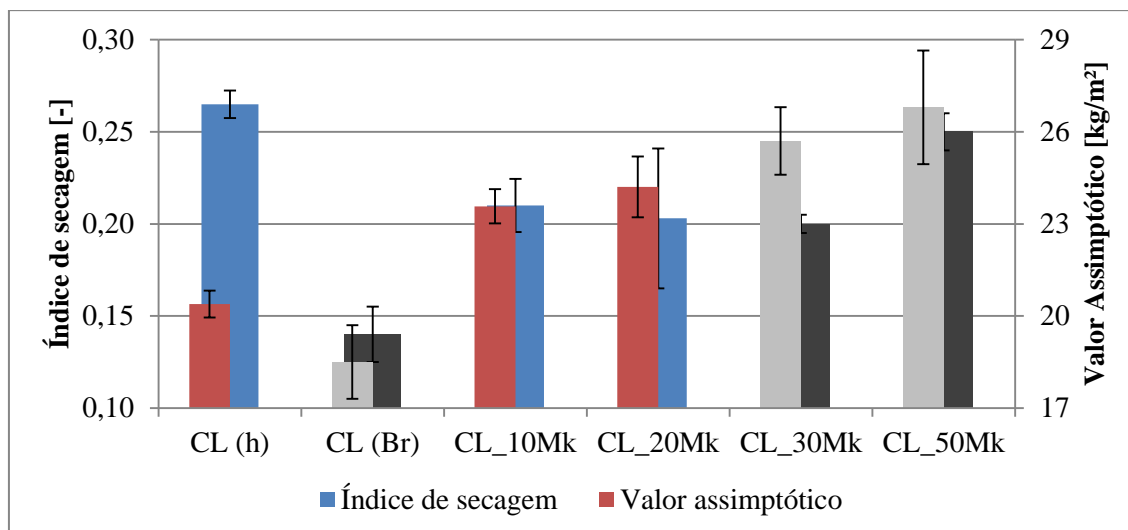


Figura 5.33 – Comparação entre índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura húmida aos 180 dias

A Figura 5.34 traduz a comparação entre as médias coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura húmida.

Tanto o valor de coeficiente de capilaridade como a taxa de secagem são, graficamente, declives de rectas; a primeira obtida num gráfico de água absorvida ( $\text{kg/m}^2$ ) em ordem à raiz do tempo ( $\text{min}^{1/2}$ ) e a segunda de um gráfico do teor em água (%) em ordem ao tempo (h).

No caso da comparação entre o coeficiente de capilaridade das argamassas de referência há uma diferença justificável através do desvio-padrão de CL (Br) da ordem dos 22%, que coloca facilmente alguns dos valores obtidos nos provetes, individualmente, na mesma gama dos valores de CL (h). Já as argamassas com metacaulino exibem, além de desvio-padrão consideravelmente mais reduzidos, uma inclinação descendente com o aumento da quantidade de substituição de ca por metacaulino.

Quanto aos valores de taxa de secagem, como foi dito aos 90 dias, devido à natureza alargada da sua duração, qualquer pequena diferença no modo de vedação das faces laterais dos provetes pode originar variações assinaláveis nos valores. A argamassa com melhor secagem inicial é CL\_30Mk.

Em 5.1.3 foi introduzido o parâmetro denominado de Aqua Behaviour. Através dele pode-se facilmente identificar que a argamassa com melhor comportamento face à água é CL\_50Mk. Também é possível ver-se a disposição crescente de AB, que reflecte a melhoria de comportamento com o aumento do teor de metacaulino nas argamassas.

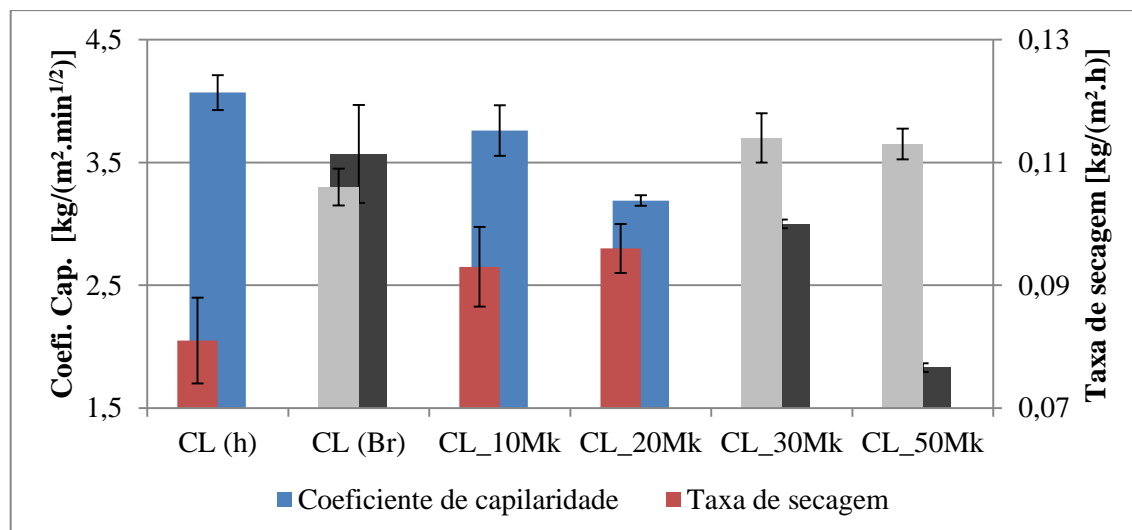


Figura 5.34 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura húmida aos 180 dias

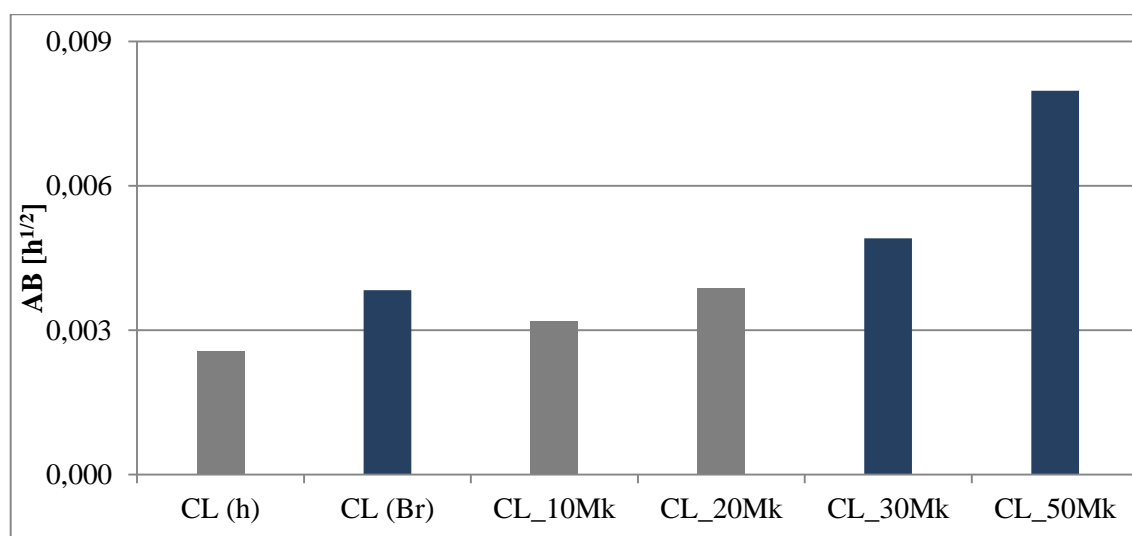


Figura 5.35 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura húmida aos 180 dias

### 5.2.1.3 Porosidade aberta

A Figura 5.36, a Figura 5.37 e a Figura 5.38 têm dispostas as comparações dos valores de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 28,90 e 180 dias, respectivamente.

As argamassas mostram uma clara tendência de crescimento de porosidade aberta com o aumento da percentagem de metacaulino, apresentando o valor mais elevado aos 30% de substituição, qualquer que seja a idade de cura examinada.

- **28 dias**

As argamassas constituídas exclusivamente por cal aérea e areia têm uma elevada friabilidade, nomeadamente a idades jovens, e neste ensaio esse factor é de extrema importância. A emergência prolongada em água e o manuseamento causam a desagregação de partículas do provete. Aos 28 dias, Branco não envolveu os provetes em tecido de nylon, o que pode ter levado à diferença verificada entre as argamassas de referência a esta idade.

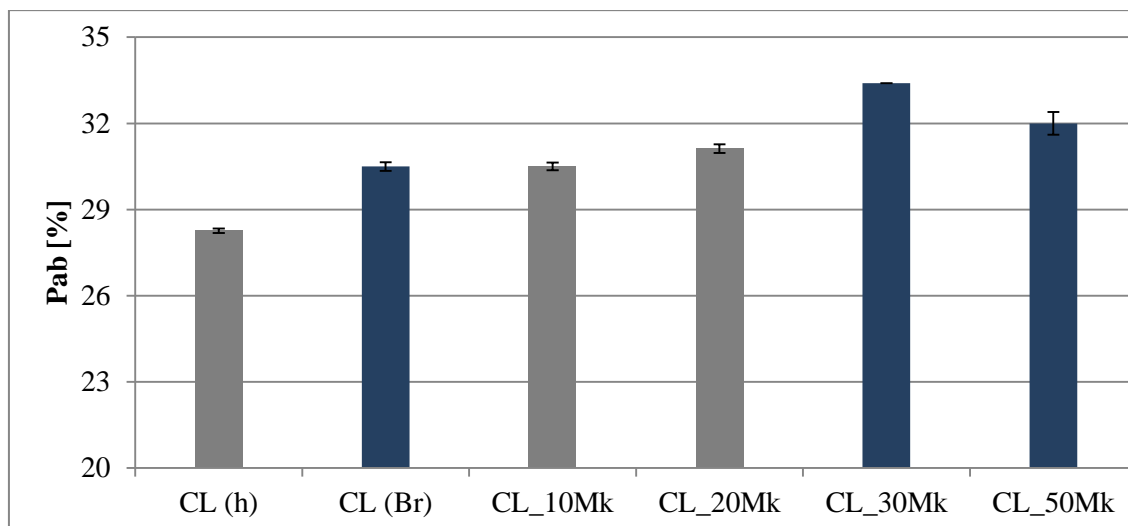


Figura 5.36 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 28 dias

- **90 dias**

Quando os provetes são envolvidos em tecido de nylon são necessários cuidados especiais, tais como a utilização da menor quantidade possível deste tecido, quer a ajustá-lo o melhor possível ao provete, quer a evitar ao máximo os excessos nas extremidades, e a pressão cautelosa do provete contra o pano antes da pesagem da massa saturada. Isto faz com que o operador tenha uma elevada influência nos resultados deste ensaio.

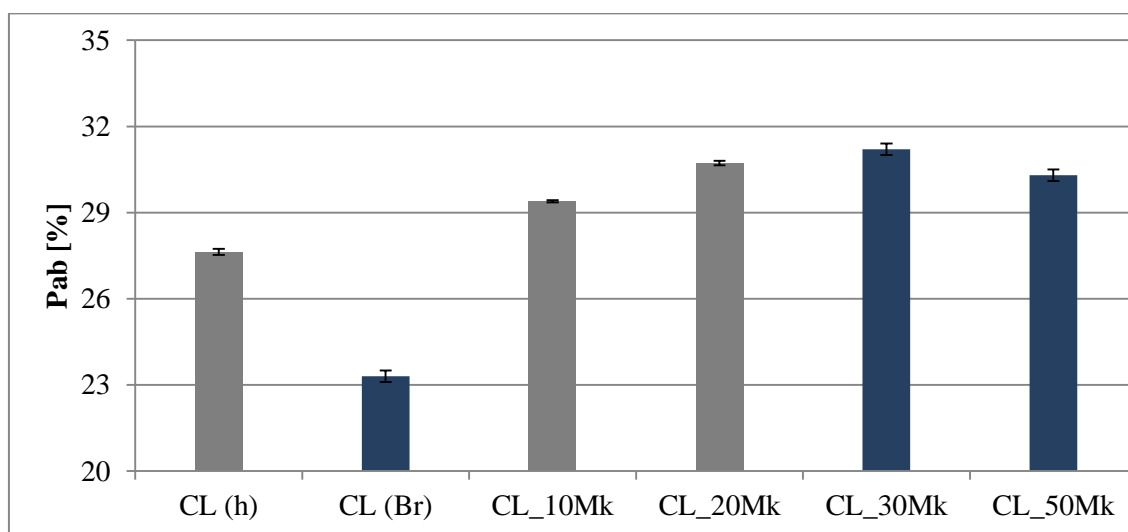


Figura 5.37 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 90 dias

- **180 dias**

Juntado ao que foi dito aos 90 dias, os resultados de Bandeira revelam desvios-padrão consideravelmente superiores aos observados nos restantes valores analisados.



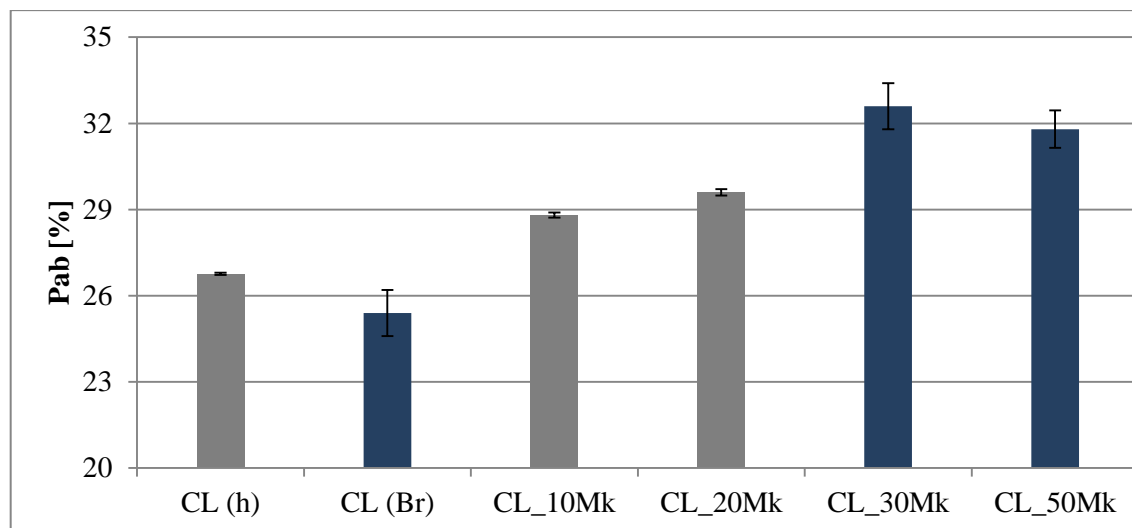


Figura 5.38 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura húmida aos 180 dias

#### 5.2.1.4 Resistência aos sulfatos

Os valores do ensaio aos 180 dias não são comparados, pois no trabalho de Bandeira não estão discriminados os valores dos ciclos cuja comparação é válida.

Na Figura 5.39 e na Figura 5.40 expõe-se a comparação entre a média dos valores de perda de massa, ao fim de 20 ciclos, por ataque de sulfatos de argamassas em cura húmida aos 28 e 90 dias, respectivamente.

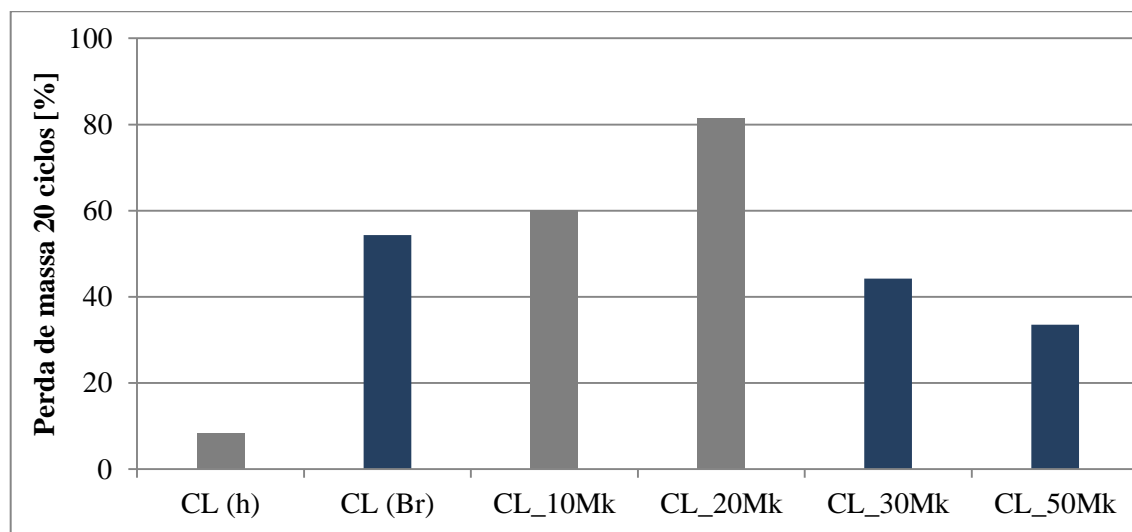


Figura 5.39 – Comparação do valor de perda de massa por ataque de sulfatos de argamassas em cura húmida aos 28 dias

Os melhores resultados de resistência aos sulfatos são sempre apresentados por uma das argamassas de referência.

A diferença na duração do ensaio de secagem, que precede este, entre Branco e o presente estudo, pode estar na origem da divergência observada ao nível dos valores das argamassas de referência. Por outro lado, as diferenças constatadas relativamente à fase de desmoldagem dos provetes

e a variação que esse factor causou nos seus parâmetros mecânicos, parecem justificar melhor esta discrepância.

De entre as argamassas que contêm metacaulino, a com teor de substituição de 50% é a que ostenta melhores resultados. Tal facto poderá ser explicado pela realização de ensaios químicos.

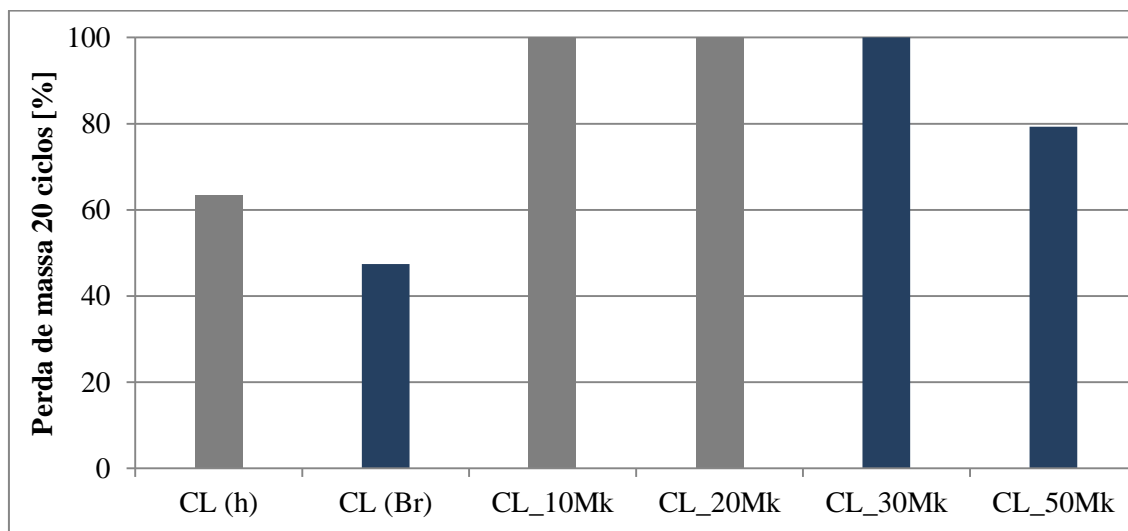


Figura 5.40 – Comparação do valor de perda de massa por ataque de sulfatos de argamassas em cura húmida aos 90 dias

### 5.2.2. Comparação de características de argamassas em cura marítima

Sobre o estudo de Mergulhão (Mergulhão, em curso) ainda em curso, não se conhecem as particularidades de execução dos ensaios e as condições específicas em que foram efectuados. No entanto, e por se tratar de trabalho inserido nos mesmos projectos, seguindo os mesmos procedimentos (Faria, 2011), sabe-se serem genericamente os mesmos. Assim, no seguimento deste trabalho, faz sentido comparar os resultados obtido com estes valores.

O autor executou argamassas com os mesmos materiais mas as argamassas com metacaulino apresentam 30% e 50% de substituição. Foram sujeitas às curas marítima e standard. Caracterizou as argamassas aos 28 e 90 dias. Nesta secção, as argamassas do presente estudo e as resultantes do trabalho de Mergulhão, são apresentadas nas figuras com cores distintas. As designações são alteradas para corresponder à lógica do trabalho actual e denominação da cura, (h), desaparece há excepção da argamassa de referência, para que se possa distinguir.

A relação  $\text{Água}/(\text{CL}+\text{Mk})$  é idêntica nos dois trabalhos.

Tal como foi dito em 5.2.1, alguns ensaios a mudança de operador tem influência no resultado, assim como a utilização de cal aérea pertencente a um lote diferente.

Recordando estas situações, e à semelhança do efectuado face aos resultados de Branco (Branco, 2013) Bandeira (Bandeira, 2012) interessa comparar directamente os resultados obtidos nas argamassas de referência, uma vez que têm a mesma constituição e depois sim, comparar os resultados em função da evolução do teor de metacaulino.

Os desvios-padrão obtidos por Mergulhão não estão disponíveis.

### 5.2.2.1 Parâmetros mecânicos

A Figura 5.41 e a Figura 5.42 contêm a comparação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima aos 28 e 90 dias.

- **28 dias**

Antes de se efectuar a comparação de valores com a variação de quantidade de metacaulino, é necessária a confrontação prévia entre os valores resultantes, dos três ensaios, às argamassas de referência, cuja composição é idêntica.

Aos 28 dias observam-se diferenças consideráveis entre as argamassas CL.

As argamassas de cal aérea têm maior dificuldade em fazer presa em presença de água e, no caso de CL (Me,m), a passagem pelas condições de cura standard permitem-lhe reduzir o teor de água com mais rapidez, proporcionando um contexto mais favorável ao endurecimento da mesma.

O facto da colocação neste tipo de cura implicar uma deslocação relativamente prolongada, pode ter levado a que, não só os provetes compostos por cal aérea e areia, mas também os com metacaulino, permanecessem em cura standard até que a argamassa CL apresentasse um endurecimento suficiente para a desmoldagem. No entanto, as condições de cura standard já não são as mais favoráveis à hidraulicidade das argamassas com metacaulino.

Isto explicaria os valores explanados na Figura 5.41, uma vez que os parâmetros mecânicos aumentam para CL (Me,m) e diminuem para as argamassas com metacaulino ensaiadas por Mergulhão.

O valor mais alto de módulo de elasticidade dinâmico pertence a CL\_20Mk, enquanto os restantes dois ensaios mostram os resultados superiores em CL\_50Mk.

No Quadro 5.9 pode constatar-se que a maior variação de valores se dá ao nível da resistência à compressão, o que pode revelar a existência de micro fissuração interna, possivelmente ocorrida no manuseamento dos provetes.

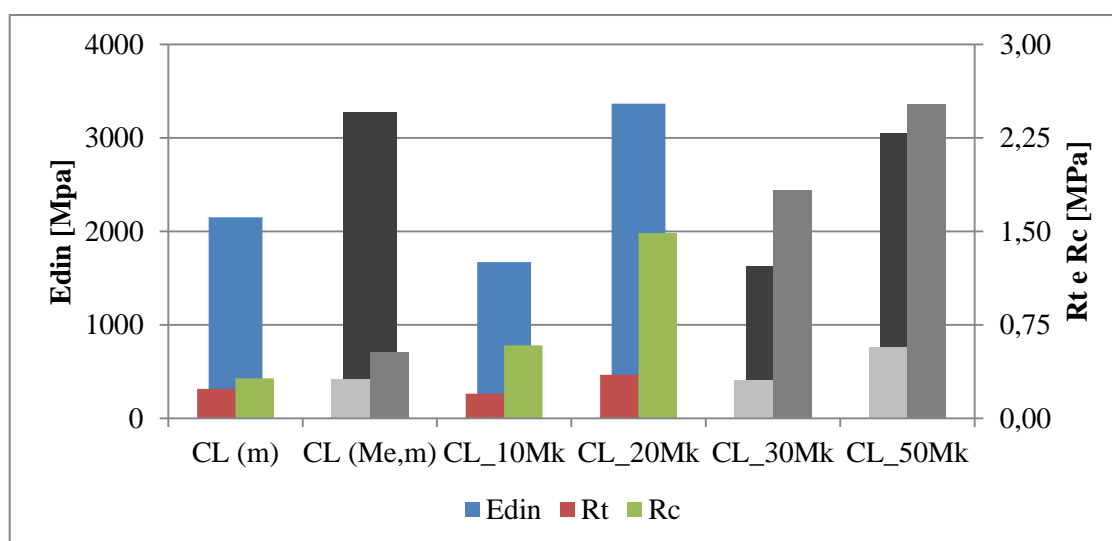


Figura 5.41 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima aos 28 dias

Quadro 5.9 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima, em relação a CL (m), aos 28 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	28 dias		
CL (m)	-	-	-
CL (Me,m)	34	26	39
CL_10Mk	-29	-18	45
CL_20Mk	36	33	78
CL_30Mk	-33	24	82
CL_50Mk	29	59	87

• 90 dias

Aos 90 dias, os efeitos da possível alteração de procedimento no trabalho de Mergulhão apresentam-se mais atenuados, levando a valores mais próximos. Todavia, para uma melhor compreensão destes resultados, seria necessária uma análise química aos provestes ensaiados.

Os resultados mais elevados de módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tracção pertencem a CL\_50Mk, ocorrendo a resistência à compressão mais alta em CL\_20Mk.

Em relação à tendência verificada com o aumento do valor de substituição de metacaulino, a resistência à compressão aumenta, o módulo de elasticidade dinâmico aumenta, retirando a argamassa CL\_30Mk, e a resistência a tracção aumenta até ao teor de 20% de substituição e a partir daí diminui.

No Quadro 5.10 é visível uma redução na variação entre valores das argamassas, em comparação com as variações aos 28 dias.

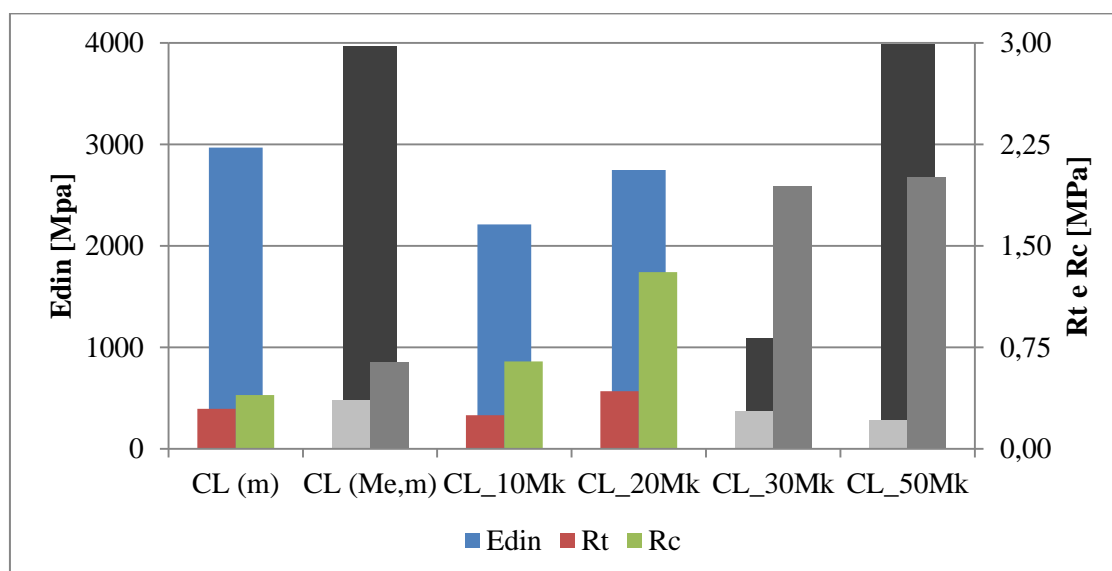


Figura 5.42 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima aos 90 dias

Quadro 5.10 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura marítima, em relação a CL (m), aos 90 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	90 dias		
CL (m)	-	-	-
CL (Me,m)	25	18	38
CL_10Mk	-34	-19	39
CL_20Mk	-8	31	70
CL_30Mk	-173	-5	80
CL_50Mk	26	-40	80

### 5.2.2.2 Comportamento face à água

Nesta subsecção é comparado o comportamento face à água, apurando-se quais os valores cujo cruzamento, entre os dois trabalhos, entra na lógica dos resultados obtidos. Esta averiguação é feita nomeadamente em ensaios cuja duração é preponderante para a ordem de valores alcançados, como referido em 5.2.1.2, aos 28 dias.

- **28 dias**

A Figura 5.43 expõe a comparação entre as médias dos valores de índice de secagem e valor assintótico de argamassas em cura marítima.

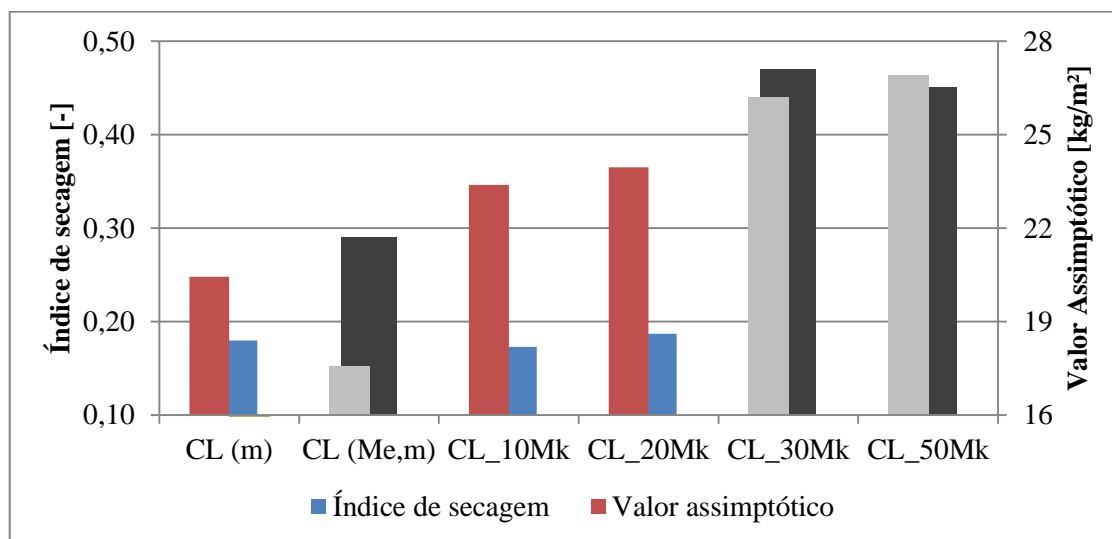


Figura 5.43 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura marítima aos 28 dias

Ao analisar-se o conjunto de valores de índice de secagem dos dois estudos, rapidamente se conclui que as gamas resultantes de cada trabalho pertencem a ordens distintas. Este ensaio está directamente relacionado com a sua duração, a qual se desconhece para o caso da execução por Mergulhão. Como tal, este ensaio não é comparável.

Em relação ao valor assintótico, nota-se uma óbvia disposição crescente dos valores com o aumento da percentagem de metacaulino. Esta comparação apenas é contrariada pela comparação

das argamassas de referência, cuja diferença pode ser explicada pela diferença de tratamento dos provetes na fase prévia à introdução em ambiente de cura marítima. O valor superior atinge-se aos 50% de substituição.

A Figura 5.44 exprime a comparação entre as médias de valores dos ensaios de coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura marítima.

A confrontação global dos resultados de taxa de secagem demonstra um crescimento destes com a ampliação da quantidade de substituição de metacaulino. A igualdade dos valores de CL (h) e CL (Me,m) mostram a coerência na sua obtenção.

A taxa de secagem tem o seu máximo na argamassa CL\_50Mk.

A variação nos resultados das argamassas de referência, em termos de coeficiente de capilaridade, impede que se retirem conclusões, como exemplificado em 5.2.1.2 aos 180 dias.

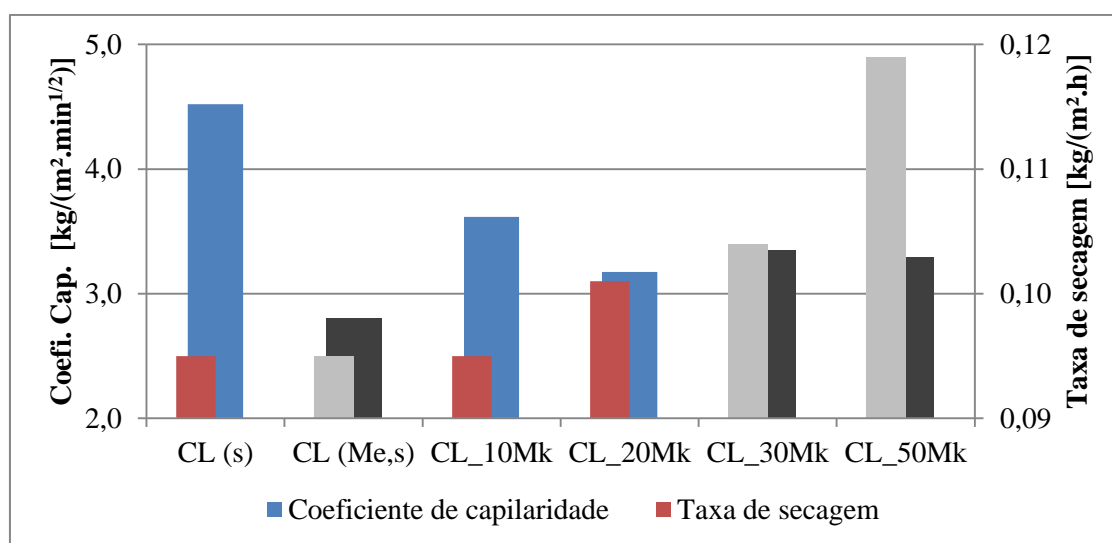


Figura 5.44 – Comparação entre coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas em cura marítima aos 28 dias

A comparação de valores de Aqua Behaviour (Fig. 5.45) aponta CL\_50Mk como a argamassa com melhor comportamento face à água.

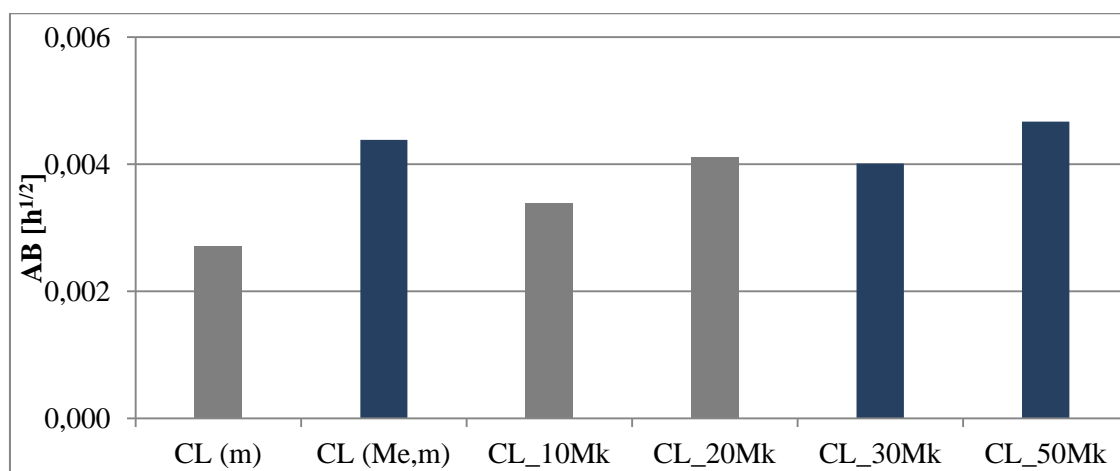


Figura 5.45 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura marítima aos 28 dias

- **90 dias**

Como foi dito aos 28 dias, também aos 90 dias os valores de índice de secagem não são comparáveis.

A Figura 5.46 tem a comparação entre a média dos resultados de valor assintótico de argamassas em cura marítima. As argamassas de referência apresentam valores similares.

A tendência global é de aumento com o teor de metacaulino, atingindo o valor máximo na argamassa CL\_30Mk.

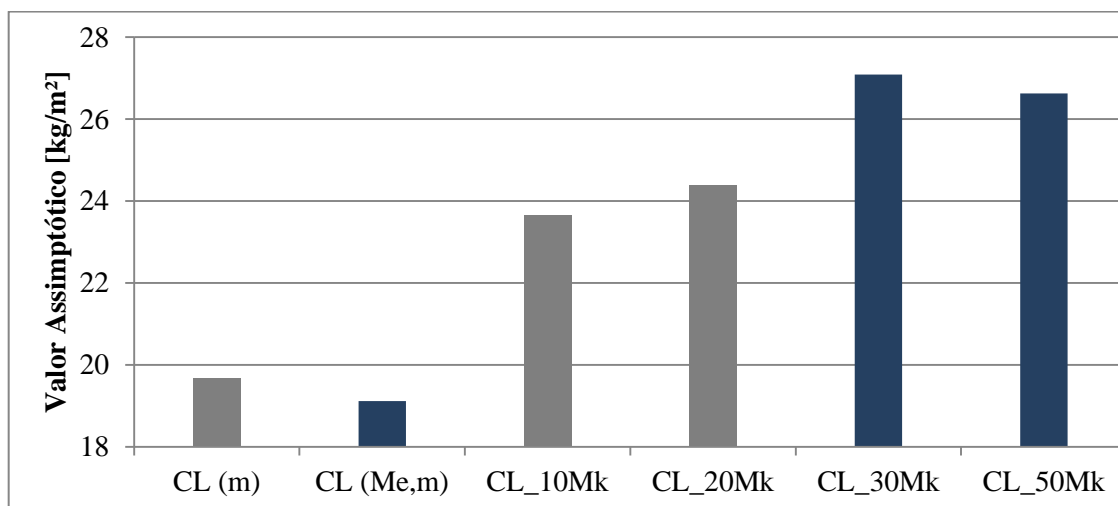


Figura 5.46 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura marítima aos 90 dias

A Figura 5.47 traduz a comparação entre as médias de taxa de secagem de argamassas em cura marítima.

Aos 90 dias as argamassas CL (m) e CL (Me,m) já mostram uma discrepância relevante, impedindo a comparação directa de valores; no entanto o valor máximo é obtido na argamassa de com 20% de substituição.

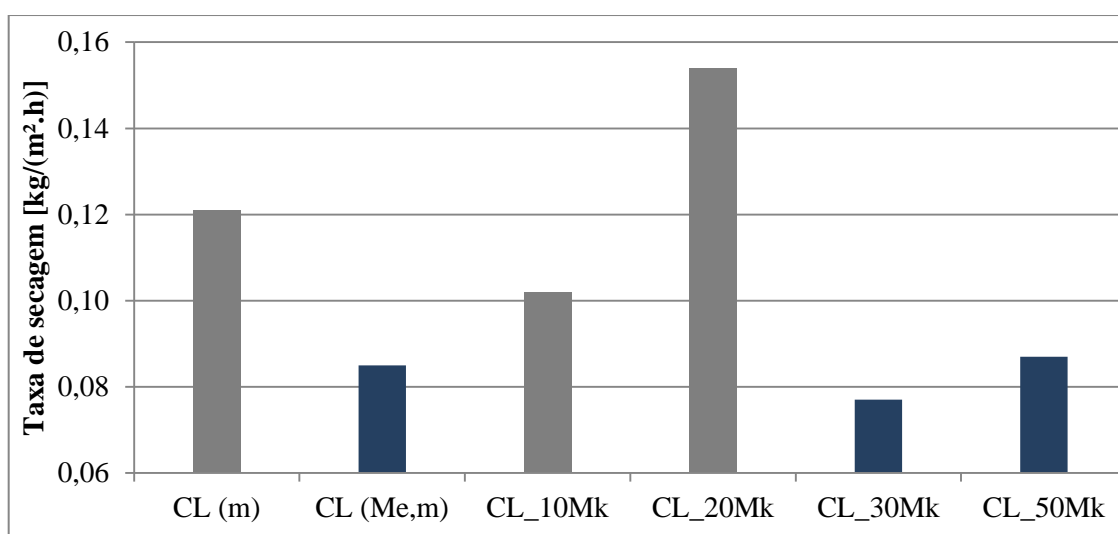


Figura 5.47 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura marítima aos 90 dias

Tal como no ensaio de taxa de secagem, o valor mais elevado de AB é conquistado por CL\_20Mk (Fig. 5.48).

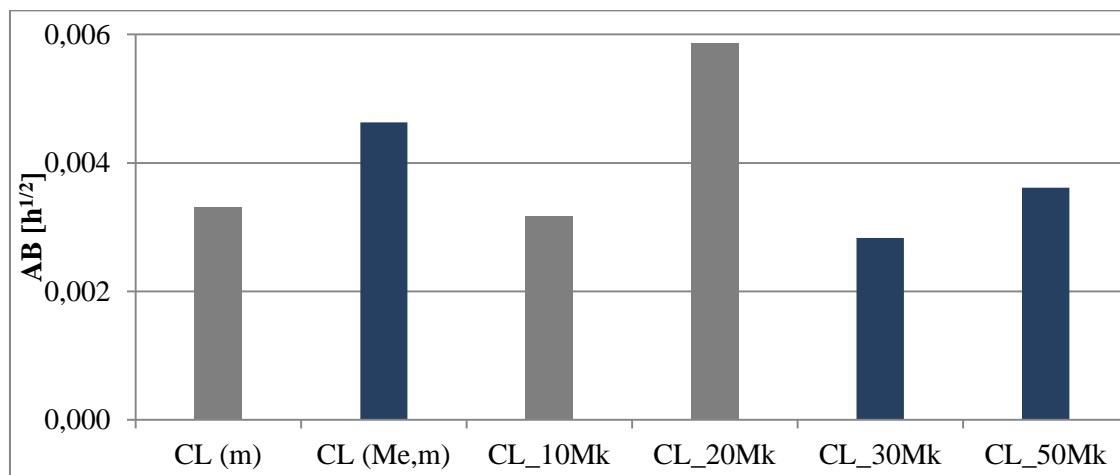


Figura 5.48 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura marítima aos 90 dias

### 5.2.2.3 Porosidade aberta

A Figura 5.49 e a Figura 5.50, têm dispostas as comparações dos valores de porosidade aberta de argamassas em cura marítima aos 28 e 90 dias, respectivamente.

- **28 dias**

A porosidade aberta mostra a tendência de aumento com o crescimento da percentagem de metacaulino, apresentando o valor mais elevado aos 30% de substituição, sendo baixa a disparidade entre os valores de referência dos respectivos estudos.

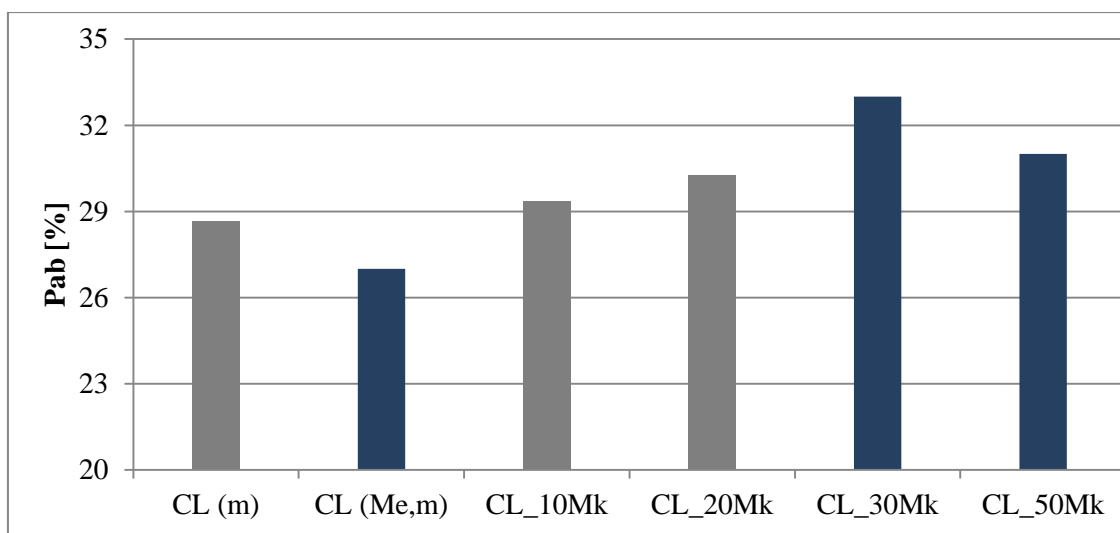


Figura 5.49 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura marítima aos 28 dias

- **90 dias**

A esta idade de cura, está patente uma variação, que se pode considerar linear, crescente com o aumento de metacaulino, que leva, obviamente, a que o valor mais elevado se situe aos 50% de teor de substituição.



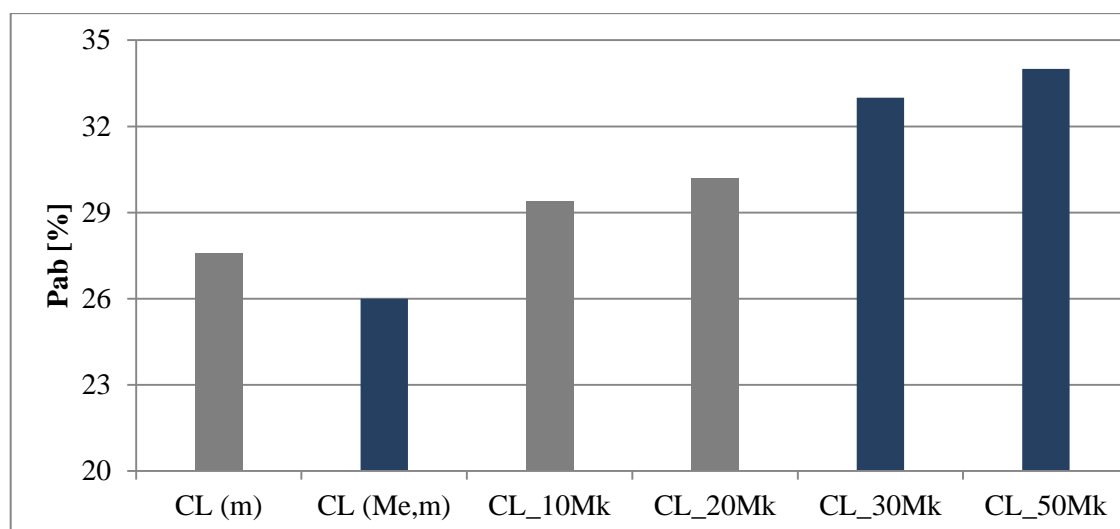


Figura 5.50 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura marítima aos 90 dias

### 5.2.3. Comparação de características de argamassas em cura standard

Esta comparação é feita com o trabalho de Mergulhão (Mergulhão, em curso), descrito em 5.2.3, assim como as suas idiossincrasias.

#### 5.2.3.1 Parâmetros mecânicos

A Figura 5.51 e a Figura 5.52 contêm a comparação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard aos 28 e 90 dias.

##### • 28 dias

Aos 28 dias já não se observam diferenças do calibre visto em 5.2.1.1 e 5.2.2.1, entre as argamassas de cal aérea e areia. Isto indicia *timings* semelhantes de manuseamento. Quer-se, com isto, dizer que as condições de comparação destes ensaios, à partida, são favoráveis.

Os valores mais elevados destes parâmetros pertencem consecutivamente à argamassa CL\_50Mk.

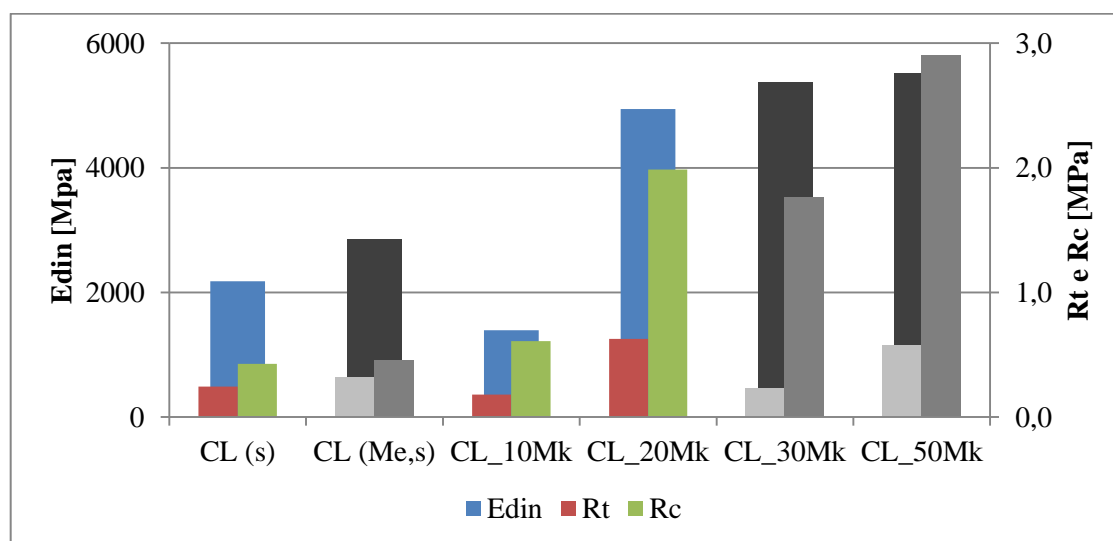


Figura 5.51 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard aos 28 dias

A tendência geral dos parâmetros mecânicos é de aumentos com a quantidade de metacaulino introduzida.

No Quadro 5.11 é possível atestar-se que a maior variação relativamente baixa dos valores de argamassas de referência. A variação ao nível da resistência à tracção pode dever-se a microfissuração interna.

Quadro 5.11 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard, em relação a CL (s), aos 28 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	28 dias		
CL (s)	-	-	-
CL (Me,s)	23	24	5
CL_10Mk	-57	-36	30
CL_20Mk	56	61	79
CL_30Mk	59	-6	76
CL_50Mk	60	57	85

- **90 dias**

Nesta idade é possível observar-se a diminuição dos valores das resistências, em relação aos 28 dias, estando o valor mais alto associado a CL\_20Mk. A diferença do valor de módulo de elasticidade dinâmico de CL\_30Mk para os restantes pode estar relacionada com a escolha errada da gama fornecida pelo aparelho.

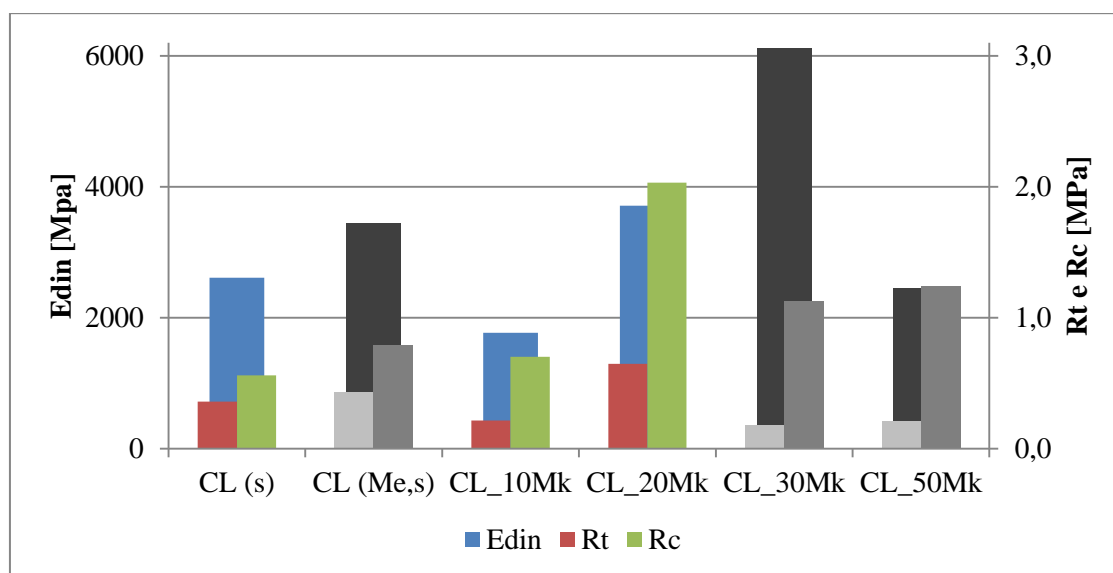


Figura 5.52 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard aos 90 dias

Em relação à tendência verificada com o aumento do valor de substituição de metacaulino, os parâmetros mecânicos aumentam até aos 20% de substituição, a partir dos quais há uma diminuição, que se mantém constante entre os 30% e os 50%.

A comparação do Quadro 5.12 com o Quadro 5.11 revela que a argamassa mais afectada pelas reduções destes parâmetros é a CL\_50Mk.

Quadro 5.12 – Variação dos parâmetros mecânicos de argamassas em cura standard, em relação a CL (s), aos 90 dias

Argamassas	$\Delta E_{din}$ [%]	$\Delta R_t$ [%]	$\Delta R_c$ [%]
	90 dias		
CL (s)	-	-	-
CL (Me,s)	24	17	29
CL_10Mk	-48	-67	20
CL_20Mk	30	45	72
CL_30Mk	57	-99	50
CL_50Mk	-6	-71	55

### 5.2.3.2 Comportamento face à água

Nesta subsecção é comparado o comportamento face à água, apurando-se quais os valores cujo cruzamento, entre os dois trabalhos, entra na lógica dos resultados obtidos. Esta averiguação é feita nomeadamente em ensaios cuja duração é preponderante para a ordem de valores alcançados.

- **28 dias**

A Figura 5.53 expõe a comparação entre as médias de valor assintótico de argamassas em cura standard.

Foi referido em 5.2.2.2, aos 28 dias, a razão pela qual não é feita a comparação com os valores de índice de secagem.

Em relação ao valor assintótico, há um ligeiro desencontro dos valores médios das argamassas de referência. De resto, nota-se uma óbvia disposição crescente dos valores com o aumento da percentagem de metacaulino. O valor mais alto alcança-se aos 50% de substituição.

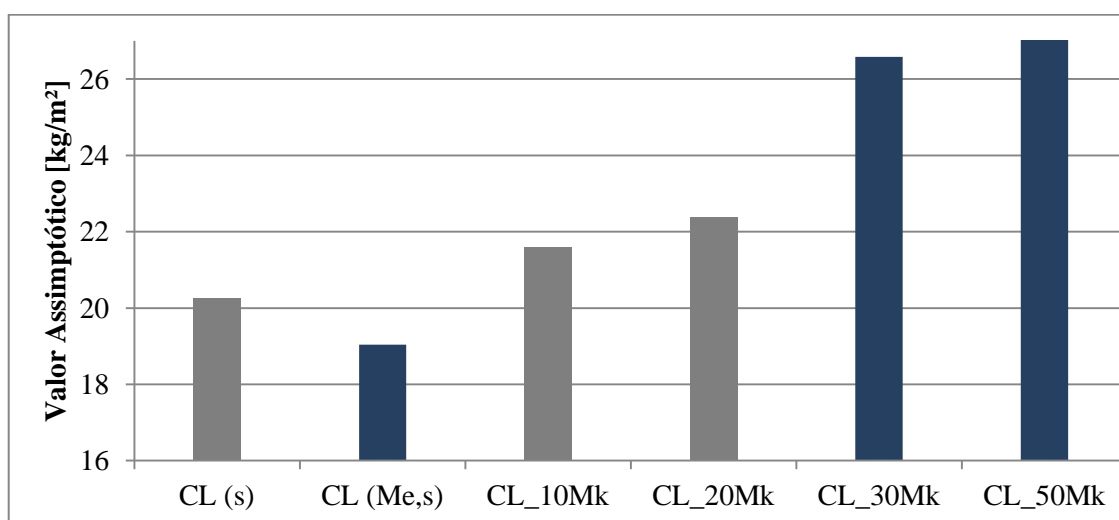


Figura 5.53 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura standard aos 28 dias

A Figura 5.44 exprime a comparação entre as médias de valores de taxa de secagem de argamassas em cura standard.

Foi explicado em 5.2.1.2, aos 180 dias, a razão pela qual não é apresentada a comparação com os valores de coeficiente de capilaridade.

A confrontação global dos resultados de taxa de secagem demonstra um incremento destes com a dilatação da quantidade de substituição de metacaulino. A semelhança dos valores de CL (h) e CL (Me,s) mostram a congruência na obtenção dos mesmos.

A taxa de secagem tem o seu máximo na argamassa CL\_50Mk.

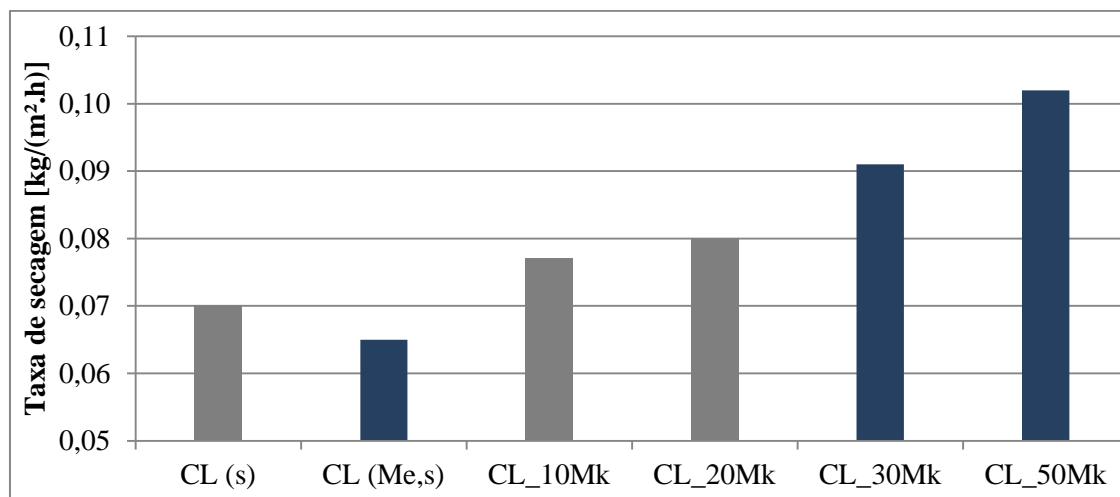


Figura 5.54 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura standard aos 28 dias

A comparação de valores de Aqua Behaviour aponta CL\_50Mk como a argamassa com melhor comportamento face à água, por causa da sua grande capacidade de secagem inicial, materializado no valor de taxa de secagem.

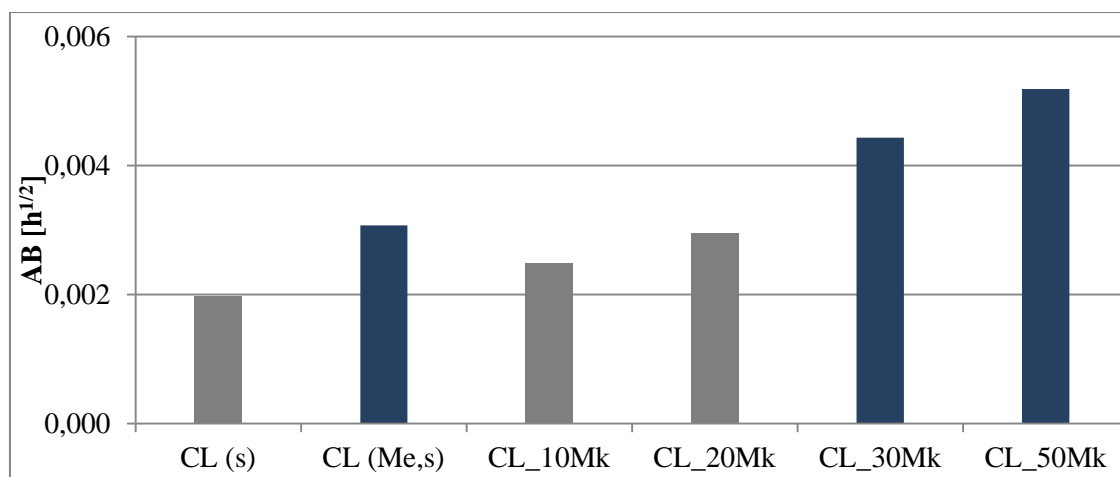


Figura 5.55 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura standard aos 28 dias

- **90 dias**

A Figura 5.56 tem a comparação entre a média dos resultados de valor assintótico de argamassas em cura standard. As conclusões retiradas estão em harmonia com as comentadas aos 28 dias.

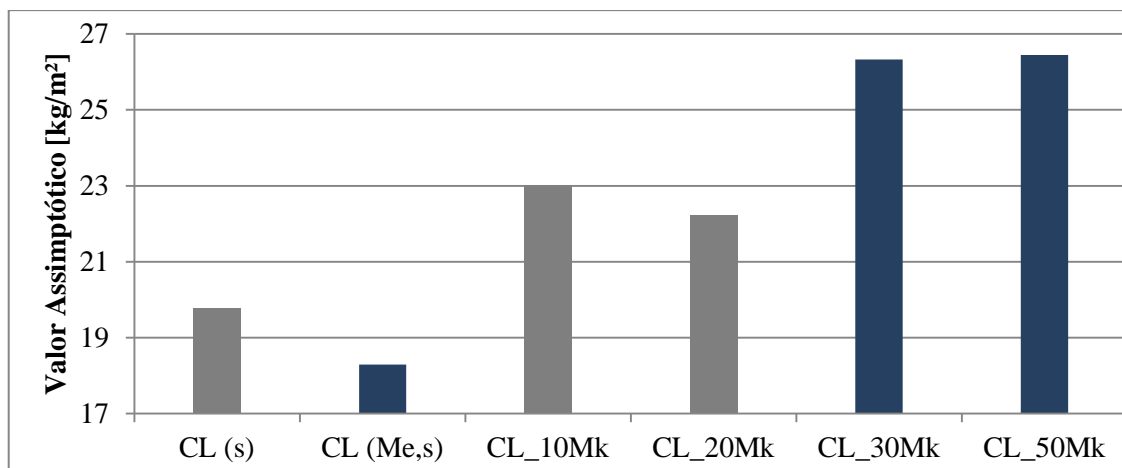


Figura 5.56 – Comparação de valor assintótico de argamassas em cura standard aos 90 dias

A Figura 5.57 traduz a comparação entre as médias de taxa de secagem de argamassas em cura standard. Aos 90 dias as argamassas CL (m) e CL (Me,m) já mostram uma discrepância relevante e o valor máximo é obtido na argamassa de com 10% de substituição. A explicação da estranheza destes valores teria de ser suportada pela descrição da realização deste ensaio a esta idade.

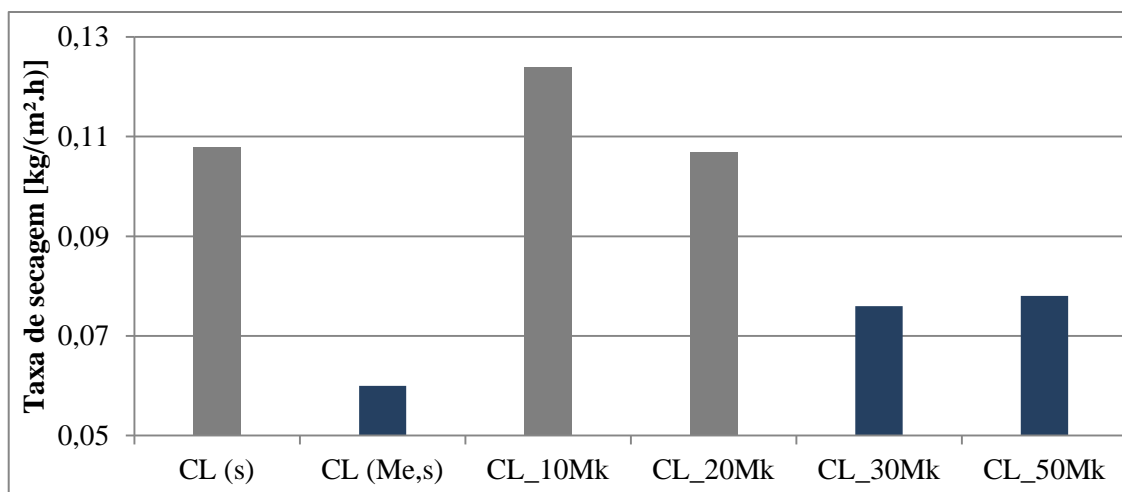


Figura 5.57 – Comparação de valores de taxa de secagem de argamassas em cura standard aos 90 dias

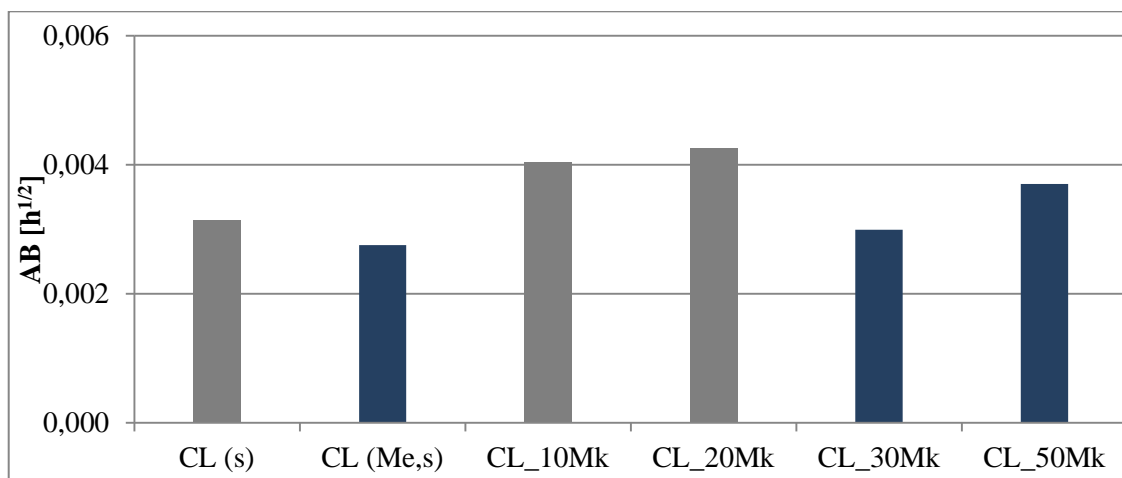


Figura 5.58 – Comparação do valor de Aqua Behaviour de argamassas em cura standard aos 90 dias

O valor mais elevado de AB é tomado por CL\_20Mk.

### 5.2.3.3 Porosidade aberta

A Figura 5.59 e a Figura 5.60, têm dispostas as comparações dos valores de porosidade aberta de argamassas em cura standard aos 28 e 90 dias, respectivamente.

- **28 dias**

A porosidade aberta mostra a tendência de aumento com o crescimento da percentagem de metacaulino, apresentando o valor mais elevado aos 30% de substituição, sendo a disparidade entre os valores de referência dos respectivos estudos explicada em 5.2.1.3 aos 28 dias.

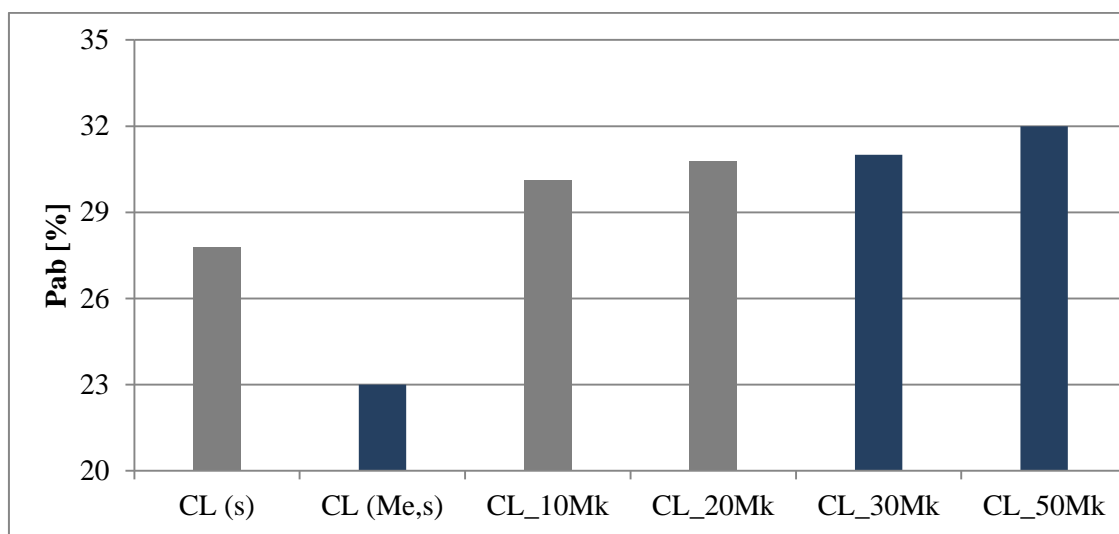


Figura 5.59 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura standard aos 28 dias

- **90 dias**

A esta idade de cura, está patente uma variação, que se pode considerar linear, crescente com o aumento de metacaulino. Devido à redução de friabilidade das argamassas sem metacaulino é possível obter valores mais fiáveis para comparação com o presente estudo.

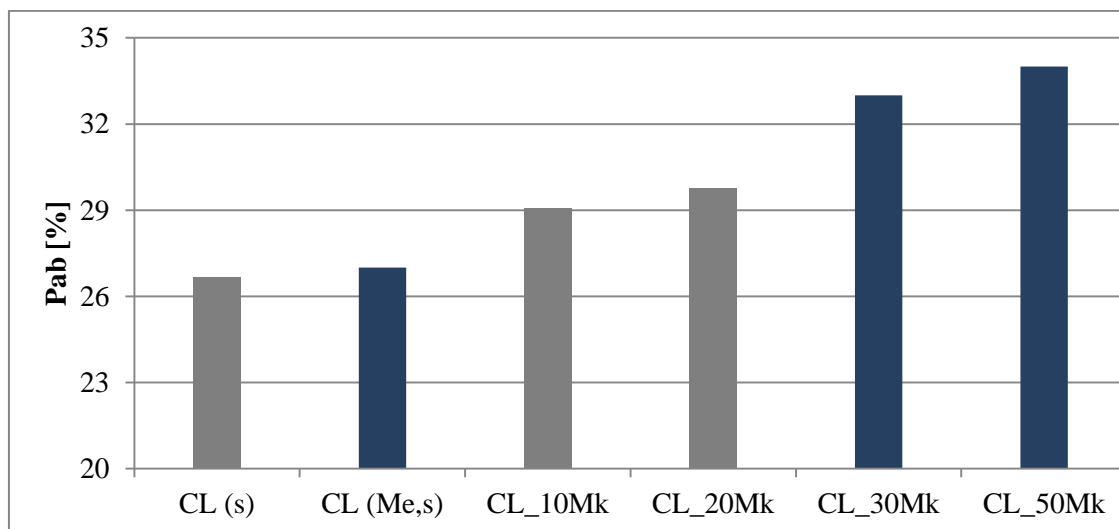


Figura 5.60 – Comparação do valor de porosidade aberta de argamassas em cura standard aos 90 dias

#### 5.2.4. Comparação das curas realizadas com a de aspersão

O trabalho de Jamú (Jamú, 2013) contempla argamassa de cal aérea e areia ao traço 1:2, constituída pelos mesmos materiais utilizados na presente dissertação, sob a forma de provetes prismáticos e em suporte de tijolo, expostos a cura de aspersão. Esta cura consiste na introdução directa, dos provetes nos moldes, em condições de cura standard, com aspersão diária do segundo ao quinto dia de cura, sendo desmoldados ao fim de 7 dias. Isto difere do presente estudo na não introdução em sacos de polietileno e na aspersão.

A quantidade de água usada nas amassaduras foi a mesma.

##### 5.2.4.1 Provetes em suporte de tijolo

A Figura 5.61, a Figura 5.62, a Figura 5.63 e a Figura 5.64 referem-se à comparação de valores de ensaios realizados em provetes em suporte de tijolo. Os resultados obtidos por Jamú (Jamú, 2013) são apresentados com cores diferentes das do presente estudo.

A cura de aspersão (sp) apresenta os resultados inferiores aos 28 dias mas evolui para valores elevados aos 90 dias, revelando um comportamento idêntico à cura húmida.

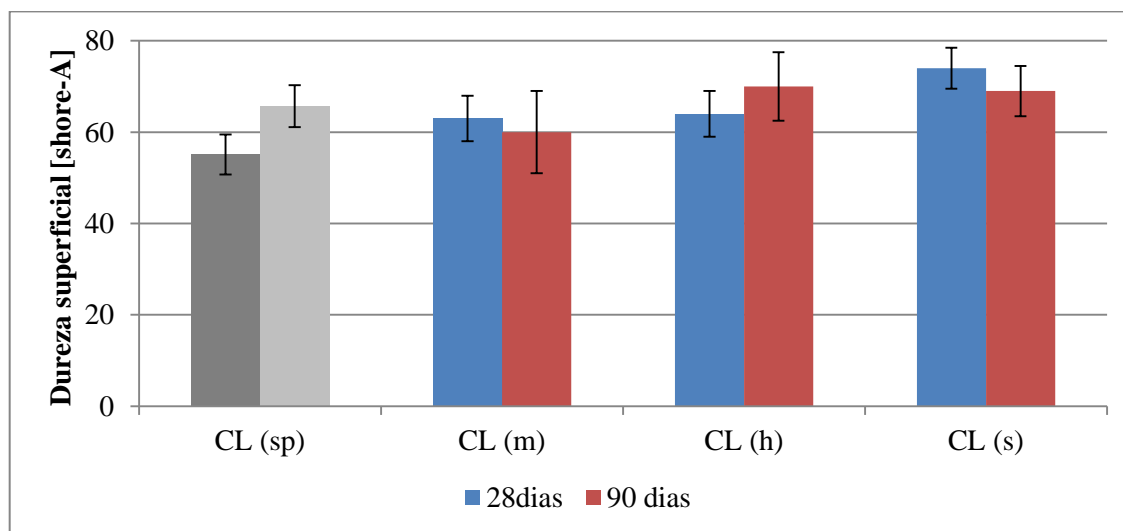


Figura 5.61 – Comparação do valor de dureza superficial em argamassas de referência aos 28 e 90 dias

Às duas idades representadas na Figura 5.62, na cura de aspersão, registou-se uma gama de valores entre os resultados das curas húmida e standard.

Tendo em conta o elevado desvio-padrão dos valores de 28 dias cinge-se a comparação aos resultados de 90 dias, apresentando estes valores entre as curas húmida e standard.

Para o coeficiente de absorção, a cura de aspersão apresenta os resultados mais elevados aos 28 dias mas evolui para o valor mais baixo aos 90 dias, exibindo um comportamento que se assemelha mais à cura marítima.

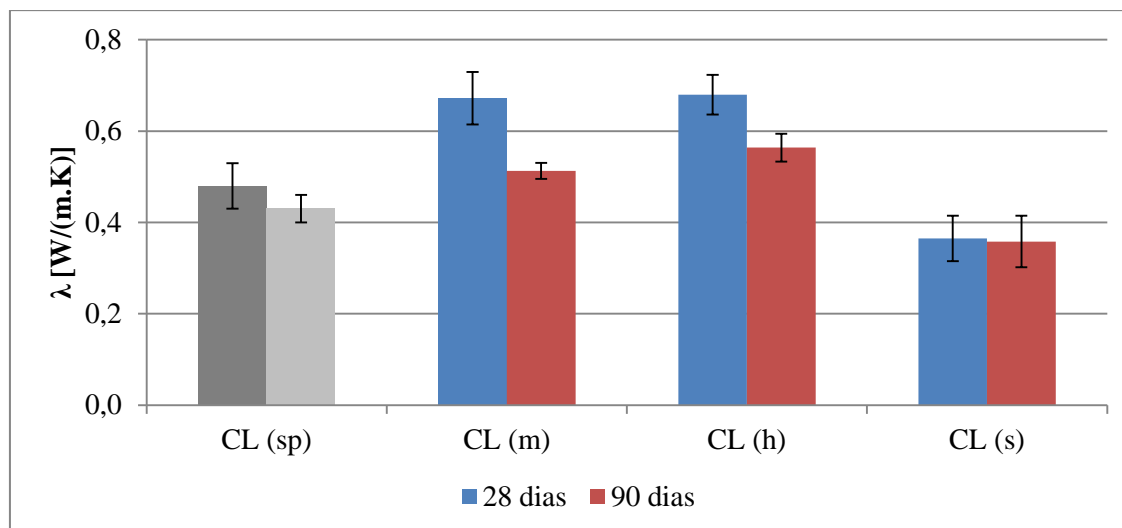


Figura 5.62 – Comparação do valor de condutibilidade térmica em argamassas de referência aos 28 e 90 dias

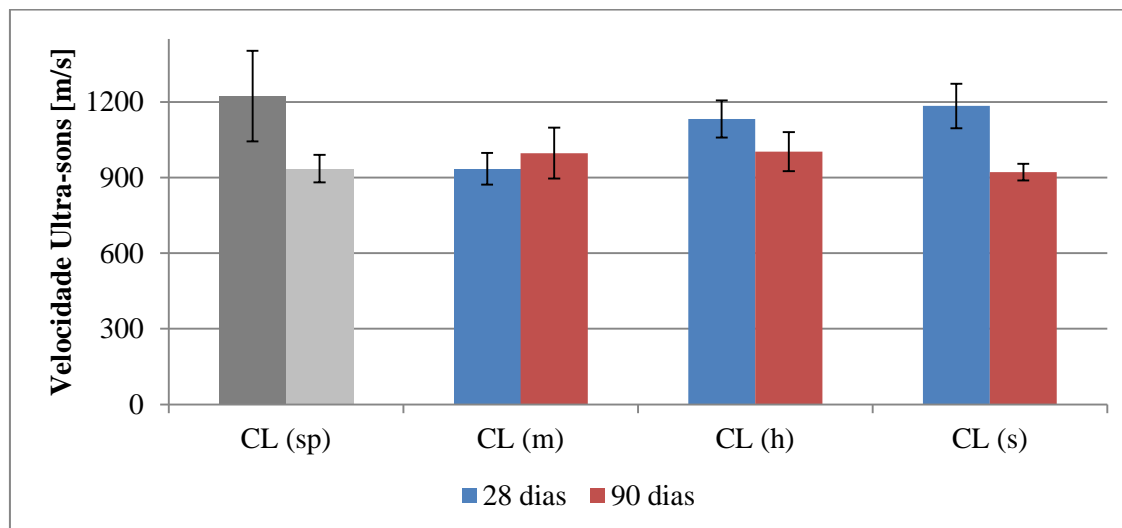


Figura 5.63 – Comparação do valor de velocidade aparente de ultra-sons em argamassas de referência aos 28 e 90 dias

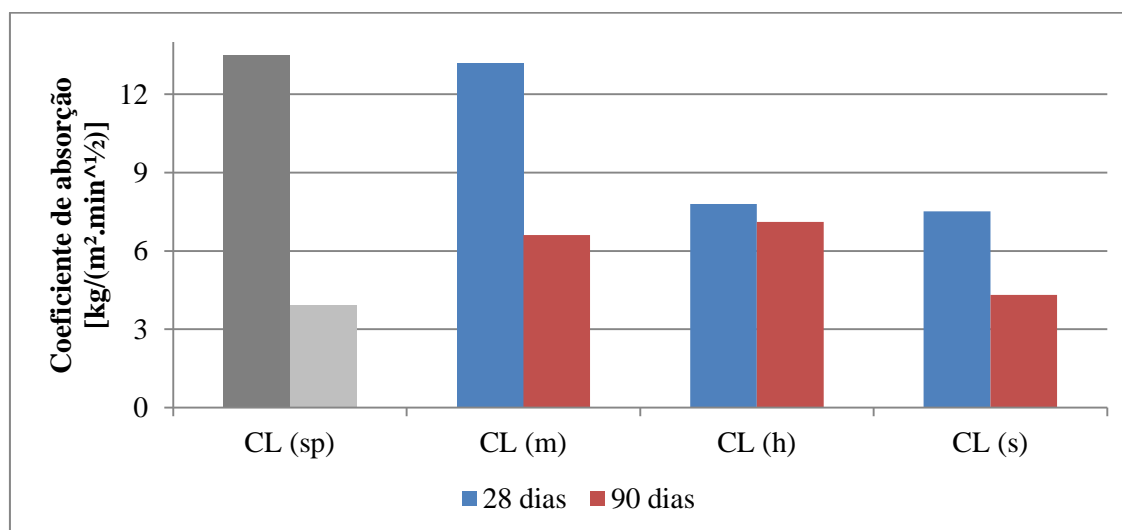


Figura 5.64 – Comparação do valor de coeficiente de absorção total em argamassas de referência aos 28 e 90 dias



Em relação à cura de aspersão, pode dizer-se que as suas características iniciais se situam entre as curas húmida e standard. Esta relação aplica-se aos valores de alguns ensaios mas não em tantos como seria de esperar. Verifica-se que, para a maior parte dos ensaios comparados, há uma melhoria de comportamento, sendo a mais assinalável no que à absorção de água diz respeito.

#### 5.2.4.2 Parâmetros mecânicos em suportes prismáticos

A argamassa de cura de aspersão apresenta valores intermédios de módulo de elasticidade dinâmico, entre a cura marítima e standard, e de resistência à tracção, tendo um comportamento que se assemelha mais à cura standard. Na resistência à compressão é a cura que apresenta melhores valores.

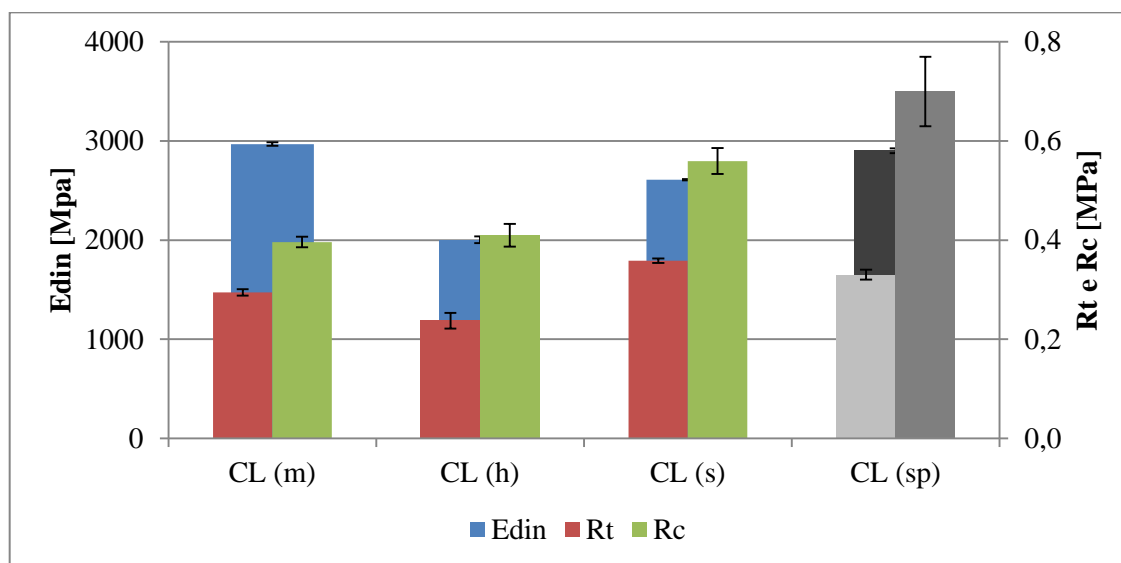


Figura 5.65 – Comparação de parâmetros mecânicos de argamassas de referência aos 90 dias

#### 5.2.4.3 Comportamento face à água em provetes prismáticos

A cura de aspersão mostra resultados intermédios de índice de secagem, entre a cura (h) e (s), estando estes valores próximos da cura marítima e obtém os resultados mais baixos de valor assintótico (Fig. 5.66).

No que se refere à taxa de secagem, a cura com aspersão volta a revelar valores intermédios mas muito próximos de (h), enquanto no coeficiente de capilaridade apresenta valores muito baixos, que podem estar relacionados com o alongamento do declive da recta inicial até às 7 horas, em vez das 5 horas utilizados no presente estudo (Fig. 5.67).

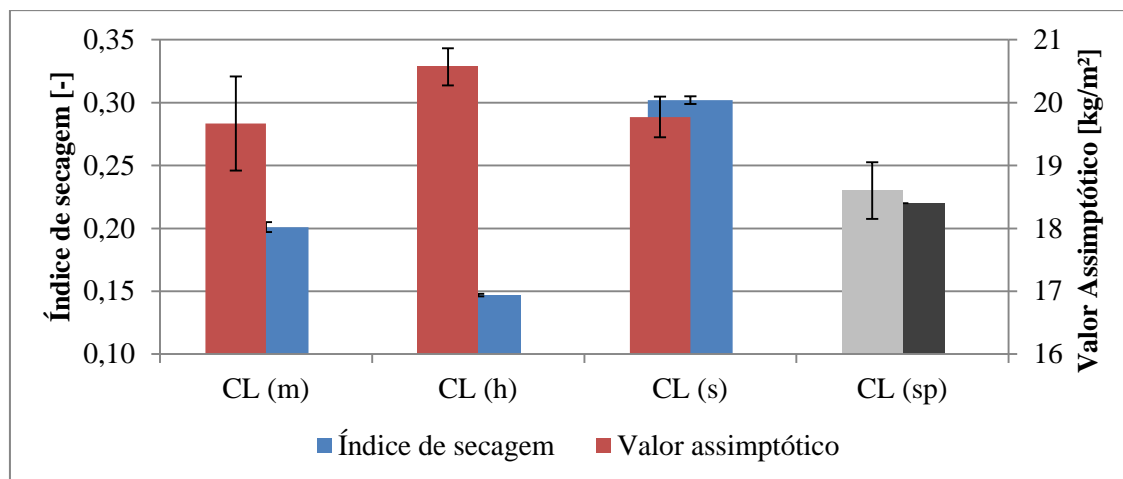


Figura 5.66 – Comparação entre valores de índice de secagem e valor assintótico de argamassas de referência aos 90 dias

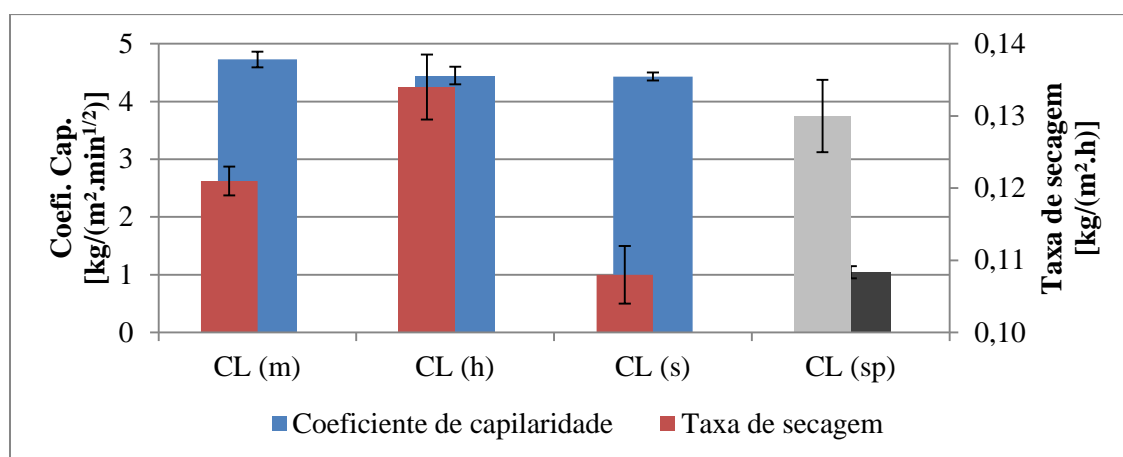


Figura 5.67 – Comparação entre valores de coeficiente de capilaridade e taxa de secagem de argamassas de referência aos 90 dias

#### 5.2.4.4 Porosidade aberta e massa volúmica aparente em provetes prismáticos

Em termos de porosidade aberta, a cura com aspersão apresenta o valor mais elevado e os resultados de massa volúmica aparente são intermédios, tendo associado um elevado desvio-padrão (Fig. 5.68).

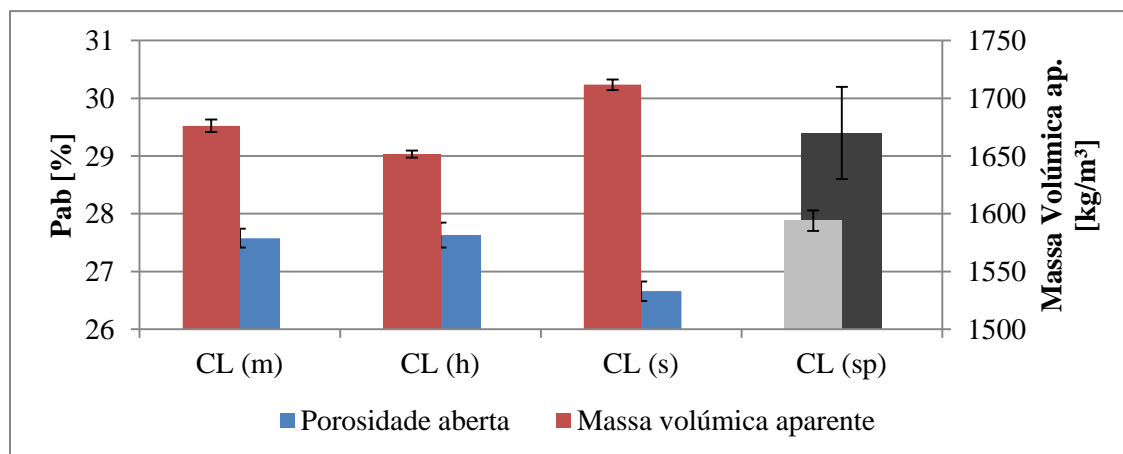


Figura 5.68 – Comparação entre valores de porosidade aberta e massa volúmica de argamassas de referência aos 90 dias

#### 5.2.4.5 Resistência aos sulfatos em provetes prismáticos

A resistência aos sulfatos das argamassas em cura com aspersão situa-se entre a cura húmida e standard.

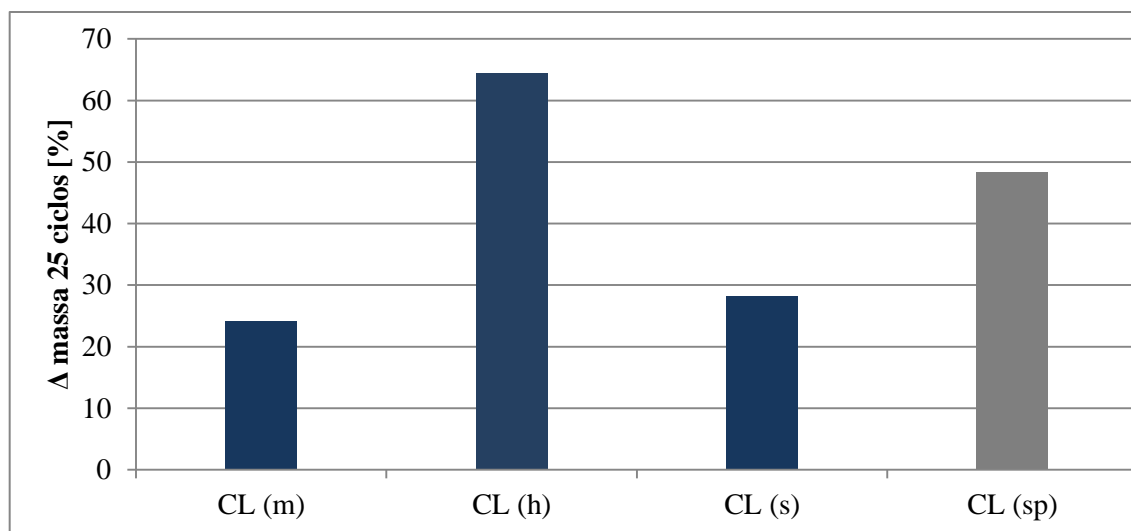


Figura 5.69 – Comparação de valores de resistência aos sulfatos de argamassas de referência aos 90 dias

#### 5.2.4.6 Condutibilidade térmica em provetes prismáticos

A condutibilidade térmica volta a colocar a cura de aspersão entre a cura standard e a húmida.

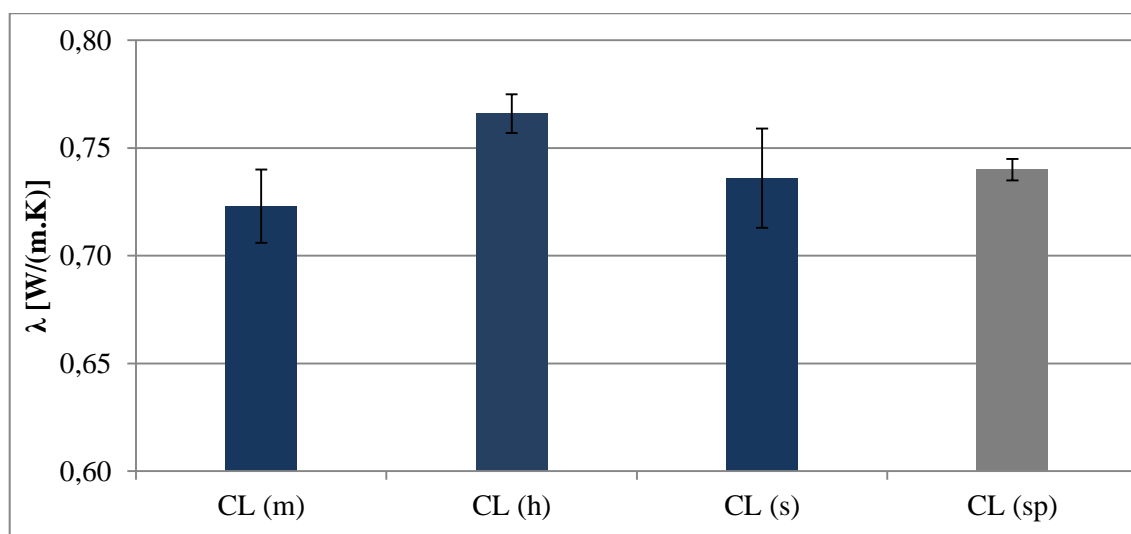


Figura 5.70 – Comparação de valores de condutibilidade térmica de argamassas de referência aos 90 dias

#### 5.2.5. Comparação visual de argamassas em cura de exposição natural aplicadas em rebocos

O estudo de Lino (Lino, 2013) contemplou a análise visual dos rebocos aplicados em muretes, em exposição natural, tal como aconteceu no presente estudo.

O autor produziu dois tipos de argamassas que interessam referir no âmbito deste trabalho, uma constituída por cal aérea e areia ao traço 1:2 e outra, baseada na mesma argamassa, com substituição mássica de 30% de cal aérea por metacaulino.

A análise visual de Lino, ocorrida até aos 180 dias, constatou exactamente as mesmas observações feitas na análise efectuada no presente estudo, nomeadamente a cor próxima do branco, com uma ligeira variação cromática entre as duas orientações, superfície apresentada pelos rebocos era regular e argamassa sem metacaulino apresentava uma ligeira friabilidade na sua exposição a Norte. No entanto durante esta análise, Lino referiu a ocorrência de precipitação, ao contrário do verificado até aos 14 dias de aplicação do presente estudo. Significa isto que, em comparações posteriores deverá ter-se esta situação em consideração.

## 6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 6.1. Conclusões gerais

Recordando que o objectivo da presente dissertação é contribuir para complementar o conhecimento de argamassas realizadas com base em cal aérea e areia, ao traço volumétrico 1:2, considerando os efeitos de substituições parciais de massa de cal por metacaulino nas percentagens de 10% e 20%, de condições diferenciadas de cura e ainda da evolução das suas propriedades com o tempo de cura, procedem-se às conclusões.

Devido à diversidade de ópticas de abordagem deste estudo, optou-se pela divisão das conclusões em vários pontos de análise, condensando as questões mais relevantes.

- **Relativamente ao estado dos conhecimentos e objectivos**

Algumas das argamassas estudadas mostraram ser, não só possível, como recomendável a sua utilização em conservação e reabilitação. Face aos valores de capilaridade, a areia utilizada deverá ser, no entanto, optimizada.

Com a sustentabilidade na ordem do dia, a produção mais económica e ecológica proporcionam outra visibilidade a este tipo de argamassas, não só em intervenções de reabilitação em edifícios construídos utilizando materiais semelhantes, onde está previsto um investimento de grande escala, como em construções novas, afirmando este tipo de argamassas como economicamente viáveis.

No que à classificação segundo a norma EN 998-1 (IPQ, 2010) diz respeito, destaca-se a argamassa CL\_20Mk (s), que alcança a classificação CS II. Pelos valores aconselhados por Veiga (Veiga *et al.*, 2010), a mesma argamassa verifica as gamas de valores para rebocos e interiores e apresentaria também bons resultados para as outras utilizações, não fosse o elevado valor de coeficiente de capilaridade. As argamassas que foram validadas para utilização em rebocos interiores, segundo as gamas de valores de Veiga, cumprem os requisitos recomendados por Henriques e Faria (Henriques e Faria, 2008) de boa dureza superficial.

Após a comparação com os parâmetros referidos, verificou-se que o coeficiente de capilaridade era o factor que impedia a concordância dos resultados com os valores preconizados para utilização em rebocos exteriores e refechamento de juntas. A solução deste inconveniente passa pela optimização da mistura de areias, que com o aumento da quantidade de areia de granulometria mais fina (APAS 30), que apresentaria melhor comportamento em relação a este parâmetro ou através da adição de um adjuvante hidrófobo.

A aplicação da camada de base exibiu boa aderência ao suporte por parte das três misturas distintas das argamassas. A análise visual dos rebocos, mostra estabilidade dimensional. A avalia-

ção visual dos rebocos em conjunto com o resultado dos ensaios realizados aos provetes em suporte de tijolo, confirmam uma boa dureza superficial, acima referida.

- **Ensaio realizado**

Em primeira análise, afere-se qual a quantidade de metacaulino adicionado que revela melhores resultados nos diferentes ensaios efectuados.

O teor de substituição, por metacaulino, de 20% revelou, de um modo global, os melhores resultados, nomeadamente nos parâmetros mecânicos (especialmente a idades mais jovens), na absorção sob baixa pressão, na compacidade por ultra-sons, na condutibilidade térmica e no coeficiente de capilaridade. No critério Aqua Behaviour, que rege o comportamento face à água, este tipo de argamassas destaca-se pela positiva.

As argamassas sem metacaulino mostraram os melhores resultados de valor assintótico e de resistência aos sulfatos.

As argamassas CL\_10Mk apenas exibem os resultados mais favoráveis relativamente à taxa de secagem.

Seguidamente avalia-se qual a cura que confere melhores resultados para os diferentes ensaios.

Em relação aos parâmetros mecânicos, não há dúvidas de que as argamassas que apresentem melhores resultados são as de cura standard. As que registam resultados menos satisfatórios são as de cura húmida aos 28 e 90 dias e as de cura marítima aos 180 dias.

Nos parâmetros de comportamento face à água, verifica-se o pior comportamento, em termos de absorção, na cura marítima. Em relação à secagem, obtêm-se os piores resultados na cura standard e os melhores na cura marítima. Em geral, através do critério de Aqua Behaviour, a cura marítima detém os valores mais favoráveis e a cura standard os menos satisfatórios.

Por fim, compara-se a influência nos resultados dos ensaios, ao longo do tempo e dentro de cada cura, e em termos da adição de metacaulino em relação às argamassas de referência.

Nos ensaios referentes aos parâmetros mecânicos, a cura húmida mostra um efeito de ganhos rápido, com diminuição acelerada; a cura standard apresenta vantagens nos resultados iniciais, com perda lenta de resistências; as condições de cura marítima têm efeitos diferentes para cada ensaio, havendo sempre elevados ganhos iniciais e oscilando, ao longo do tempo, entre um abaiamento rápido no módulo de elasticidade dinâmico e diminuição lenta de resistências.

A porosidade aberta diminui com o tempo e aumenta com a percentagem de metacaulino adicionado. A massa volúmica aparente, como foi dito anteriormente, apresenta o comportamento contrário.

- **Comparação entre ensaios realizados**

A comparação de valores obtidos em ensaios distintos permite revelar a interligação de alguns deles.

Os resultados dos ensaios que apresentam uma relação directa, ou seja, em que ambos os valores aumentam ou diminuem simultaneamente, são:

- Espalhamento e retenção de água;
- Porosidade aberta e retenção inicial de sulfatos;
- Rácio entre de resistências à compressão e tracção e resistência aos sulfatos.

Os resultados dos ensaios que expõem uma relação inversa, isto é, cuja variação se verifica em sentido oposto, são:

- Espalhamento e massa volúmica em estado fresco;
- Valor assintótico e índice de secagem;
- Coeficiente de secagem e Taxa de secagem;
- Porosidade aberta e massa volúmica aparente;
- Porosidade aberta e condutibilidade térmica.

- **Comparação com outros trabalhos**

A comparação com resultados obtidos em outros trabalhos semelhantes permite estender a análise resultante deste estudo a outras percentagens da substituição por metacaulino e a outras condições de cura.

Na cura húmida a percentagem de metacaulino deverá estar entre 20% e 30%, uma vez que o módulo de elasticidade dinâmico é excessivo para 30% e reduzido para 20% (segundo a gama de valores do Quadro 2.3). Ainda assim, a maior quantidade de metacaulino adicionado leva a um melhor comportamento face à água.

Para a cura marítima a substituição de 50% mostra os melhores resultados nos parâmetros mecânicos e comportamento face à água aos 28 dias. No entanto, se por um lado a adição de maiores valores de metacaulino podia ainda melhorar alguns parâmetros mecânicos, a argamassa que mostrou melhor comportamento face à água a idade mais avançada foi a com 20% de metacaulino.

Em ambiente de cura standard, o aumento de metacaulino adicionado levou a melhores comportamentos mecânicos e face à água, em fase inicial, tendo-se destacado a argamassa CL\_20Mk a idades mais avançadas, com melhores comportamentos nestas duas vertentes.

A cura de aspersão apresentou melhorias, nas argamassas sem metacaulino, ao nível da resistência à compressão, coeficiente de capilaridade e comportamento face à água em geral.

- **Conclusões finais**

As argamassas com 20% de substituição em massa de cal por metacaulino mostraram os melhores resultados na maior parte dos casos, independentemente da cura ou da idade. Considerando o coeficiente de capilaridade, esta é a única argamassa, das estudadas, que cumpre as características, definidas por Veiga (Veiga *et al.*, 2010) e expostas no Quadro 2.3, para rebocos interiores, em todos os tipos de cura. Não considerando o coeficiente de capilaridade, a argamassa CL 20Mk cumpriria também as características, definidas por Veiga, para rebocos exteriores e refechamento de juntas.

A substituição de 10% mostrou ser insuficiente e revelou resultados inconstantes. A falta de consistência nos resultados leva a que, na maior parte dos casos, os valores alcançados nestas argamassas sejam piores do que as argamassas de referência, não justificando o aprofundamento do seu estudo.

Pode-se concluir que, em argamassas de cal aérea, só teores de 20% ou superiores melhoraram efectivamente o comportamento geral deste tipo de argamassas.

A cura standard tem uma influência positiva em termos de parâmetros mecânicos mas negativa no comportamento face à água.

A cura húmida tem uma influência negativa em termos de parâmetros mecânicos, principalmente na fase inicial e positiva no comportamento face à água.

A cura marítima demonstra um impacto negativo nos parâmetros mecânicos a longo prazo e uma influência benigna sobre o comportamento face à água em geral e na secagem em particular.

A cura spray mostra grandes melhorias ao nível do comportamento face à água.

É provável que, em obra, uma cura com aspersão diária com água nos primeiros dias, que não será muito difícil de implementar, seja uma boa opção, particularmente se as condições climáticas estiverem quentes e secas.

## **6.2. Propostas de desenvolvimento futuro**

Com a finalização dos trabalhos desta dissertação, é tempo de sugerir estudos complementares.

Em primeiro lugar há que referir os ensaios complementares que estão inicialmente previstos realizar no âmbito deste trabalho (cuja realização não se proporcionou por indisponibilidade da entidade competente, durante o período de concretização do presente trabalho), com base em provetes preparados às diversas idades e de modo a se justificarem alguns dos comportamentos encontrados:

- Análise dos compostos mineralógicos presentes nas argamassas estudadas, através de ensaios de DRX;
- Análise termogravimétrica e análise termogravimétrica diferencial;
- Análise ao microscópio electrónico de varrimento;
- Ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio.

Para a realização destes, seriam utilizados os provetes que se encontram no armário 4 da sala 1.21 do DEC da FCT-UNL, todos eles identificados individualmente com todas a informação necessária.

Em segundo lugar propõe-se a caracterização aos 28, 90 e 180 dias, através de ensaios que permitam complementar este trabalho, aos rebocos executados na Estação de Exposição Natural de Revestimentos, construída durante a concretização do presente trabalho e sua comparação com a



caracterização efectuada nas argamassas aplicadas sobre tijolo em condições de cura marítima, húmida e standard:

- Compacidade das argamassas recorrendo a ultra-sons - a maior espessura da camada de argamassa aplicada deverá permitir obter resultados mais fiáveis e mais reprodutíveis de condições reais de obra;
- Absorção de água sob baixa pressão - a maior área de aplicação do reboco, em relação à área dos provetes em suporte de tijolo, permite que as manchas de absorção não se intersectem e, conseqüentemente, influenciem os resultados uma da outra;
- Dureza superficial por esclerómetro pendular, durómetro, entre outros.

Por último, a continuação do estudo sobre este tipo de argamassas, alargando o conhecimento a idades de cura superiores:

- Caracterização deste tipo de argamassas em cura marítima, a idades mais avançadas, através dos provetes prismáticos, moldados em conjunto com os analisados neste trabalho, e em suporte de tijolo que permanecem no Cabo Raso;
- Caracterização deste tipo de argamassas em cura húmida e standard, a idades mais avançadas, através dos provetes em suporte de tijolo que permanecem nas respectivas curas;
- Caracterização deste tipo de argamassas em exposição natural, a idades mais avançadas, através dos rebocos da Estação de Exposição Natural de Revestimentos da FCT-UNL;
- Desenvolver mais estudos sobre este tipo de argamassas mas com diferentes percentagens de substituição, com objectivo de aumentar a amostra de argamassas em análise e corroborar as conclusões deste trabalho.
- Desenvolver mais estudos sobre a argamassa com 20% de substituição em massa de cal por metacaulino, mas utilizando uma mistura de areias com mais finos, que melhorem o coeficiente de capilaridade, eliminando assim as reservas na sua utilização em rebocos exteriores e refechamento de juntas, e averiguando as alterações provocadas ao nível dos parâmetros mecânicos.



## 7. BIBLIOGRAFIA

- ALARCÃO, J. - *Argamassas na Antiguidade*. Págs. 20-24., Pró jornal, 1978.
- APPLIED PRECISION - *User's guide*. ISOMET Model 2104 Heat Transfer Analyzer., s/d.
- ARIZZI, A. e CULTRONE, G. - *Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: A mineralogical, textural and physical-mechanical study*. Vol. 31. Págs. 135-143., 2012.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM) - *C-125. Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates.*, 2007.
- ASTM Standards - *ASTM D2240-00 – Standard test method for rubber property – durometer hardness*. United States, 2000.
- BANDEIRA, A. - *Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino. Evolução com a idade*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2012.
- BARONIO, G. e BINDA, L. - *Study of the pozzolanicity of some bricks and clays*. Construction and Building Materials, vol. 11, págs. 41-46. 1997.
- BILLONG, N.; MELO, U.; NJOPWOUO, D.; LOUVET, F. e BONNET, J. - *Effect of mixture constituents on properties of slaked lime-metakaolin-sand mortars containing sodium hydroxide*. In : Cement & Concrete Composites, vol. 31, pp.658-662. 2009.
- BRANCO, T. - *Evolução e comparação das características de argamassas de cal aérea com adição de metacaulino*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2013.
- BRANDI, C. - *Teoria del restauro.*, Einaudi, 1963.
- BRICCOLI, B. e ROVERO, L. - *Gli additivi per malte usati nell' antichita*. Mascolo G Edição., Idea Stampa Editore AIMAT, 1997.
- BRITO, V.; GONÇALVES, T. e FARIA, P. - *Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport*. Journal of Coatings Technology and Research 8 (4), págs. 513-525., 2011.
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN) - *EN 1015-2: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Brussels, 1998a.
- CEN - *EN 1015-6:1998 – Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels, 1998b.
- CEN - *EN 1015-7:1998 – Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar*. Brussels, 1998c.
- CEN - *EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels, 1999a.
- CEN - *EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels, 1999b.
- CEN - *prEN 1015-8, draft European Standard, Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar*. Brussels, 1999c.
- CEN - *EN 197-1: 2000 – Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*. Brussels, 2000.
- CEN - *EN 1015-18:2002 – Methods of test for mortars for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels, 2002.

- CEN - EN 15801 – *Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity*. Brussels, 2009.
- CEN - EN 998-1 – *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*. Brussels, 2010.
- ČERNÝ, R.; KUNCA, A.; TYDLITAT, V.; DRCHALOVA, J. e ROVNANÍKOVÁ, P. - *Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters*. Construction and Building Materials, vol. 20, págs. 849-857. Elsevier, 2006.
- CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA (CML) - <http://www.cm-lisboa.pt/fileadmin/VIVER/Urbanismo/urbanismo/Reabilitacao/estrat.pdf>. Câmara Municipal de Lisboa, 2011. (17/08/2013).
- DIAS, I. - *Desenvolvimento e Caracterização de Argamassas de Cal Aérea e Terra. A Influência da Terra como Agregado Parcial*. Tese de Mestrado. FCT-UNL, 2013.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F. e RATO, V. - *Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation*. Journal of Cultural Heritage, págs. 338-346. 2008.
- FARIA, P.; TAVARES, M.; VEIGA, R. e MARGALHA, G. - *Traditional Portuguese techniques for application and maintenance of historic renders*. In WORKSHOP, H., ed. : 2nd Conference on Historic Mortars, pp.609-617. 2010.
- FARIA, P.; SILVA, V. e FLORES-COLEN, I. - *Argamassas de cal hidráulica natural e pozolanas artificiais: avaliação laboratorial*. In : 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra 2012.
- FARIA, P. - *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado. UNL, 2004.
- FARIA, P. - *Resistance to salts of lime and pozzolan mortars*. In GROOT, C., ed. : Proceedings pro 067: International RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry, pp.99-110. 2009.
- FARIA, P. - *PROJECTO FCTMETACAL - Procedimentos de ensaio de argamassas*. Departamento Engenharia Civil, FCT-UNL, 2011.
- FARIA, P. e HENRIQUES, F. - *Current mortars in conservation: an overview, in Proceedings of the 6th International Conference on Materials Science and Restoration*. In KARLSRUHE, U., ed. : Seminar on Historical Rendering and Mortars 2003.
- FELGUEIRAS, N. - *Avaliação da evolução das características de argamassas de cal aérea com diferentes teores de metacaolino sujeitas a ambientes de diferente humidade relativa*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2011.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. e P. DE FREITAS, V. - *Stains in facades' rendering – Diagnosis and maintenance techniques' classification*. Construction and Building Materials, vol. 22, págs. 211-221. Elsevier, 2008.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. e FREITAS, V. - *Discussion of Criteria for Prioritization of Predictive Maintenance of Building Façades: Survey of 30 Experts*. Journal of Performance of Constructed Facilities, págs. 337-344. American Society of Civil Engineers, 2010.
- FORTES-REVILLA, C.; MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S. e BLANCO-VARELA, M. - *Modelling of slaked lime-metakaolin mortar engineering characteristics in terms of process variables*. 5th Edição. Vol. 28. Págs. 458-467., 2006.
- FREITAS, V. - *Manual de Apoio ao projecto de Reabilitação em Edifícios Antigos*. Ingenium, vol. 129, págs. 11., 2012.

- GAMEIRO, A.; SANTOS SILVA, A.; FARIA, P.; BRANCO, T.; VEIGA, R. e VELOSA, A. - *Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: influence of binder:aggregate ratio*. Cement and Concrete Composites, vol. 45, págs. 264-271., 2012.
- GIBBONS, P. - *Pozzolans for lime Mortars. The conservation and repair of ecclesiastical buildings*. <http://www.buildingconservation.com/articles/pozzo/pozzo.htm>, 1997. (12/Agosto/2013).
- GRILO, J. - *Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural nhl3.5 de fabrico nacional*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2013.
- HENRIQUES, F. - *A conservação do património histórico edificado - Memória nº 775*. LNEC, Lisboa, 1991.
- HENRIQUES, F. - *Comportamento higrotérmico de Edifícios*. DEC, FCT-UNL, 2007.
- HENRIQUES, F. e FARIA, P. - *Argamassas de substituição na conservação do património*. Construção Magazine, vol. 16, págs. 38-45. 2006.
- HENRIQUES, F. e FARIA, P. - *O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património*. Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho, vol. 31, págs. 29-37. 2008.
- INTERNATIONAL CONGRESS OF ARCHITECTS AND TECHNICIANS OF HISTORIC MONUMENTS (ICATHM), I. C. o. a. a. - *Decisions and resolutions (Carta de Veneza)*. In : International, Veneza 1964.
- INGENIUM - *XVIII Congrso da ordem dos engenheiros. Principais conclusões*. Ingenium, vol. 121, págs. 10-11., 2011.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (IPMA) - *ipma.*, 2013. <https://www.ipma.pt/pt/> (12/11/2013).
- INSTITUTO PORTUGÊS DA QUALIDADE (IPQ) - - *NP EN 933-1:2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Método de Peneiração*. Caparica, 2000.
- IPQ - *NP EN 12370:2001- Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à cristalização de sais.*, Caparica 2001.
- IPQ - *NP EN 1097-3:2002 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Caparica, 2002.
- IPQ - *NP EN 13306:2007 - Terminologia da Manutenção*. Caparica, 2007a.
- IPQ - *NP EN 14146:2006 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamen-tal)*. Caparica, 2007b.
- IPQ - *NP EN 1936:2008 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das mas-sas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta*. Caparica, 2008.
- IPQ - *NP 4220: 2010 – Pozolanas para betão, argamassas e caldas. Definições, requisitos e verificação da conformidade*. Caparica, 2010a.
- IPQ - *NP EN 998-1:2010 - Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores*. Cparica, 2010b.
- IPQ - *NP EN 459-1:2011 – Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. Caparica, 2011.
- JAMÚ, N. - *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como ligante*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2013.
- LINO, G. - *Caracterização in situ de rebocos com base em cal e metacaulino*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2013.

- LNEC - *FE Pa 43 – Ficha de ensaio para revestimentos de paredes – Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultra-sons*. Lisboa, 2010.
- MADEIRA, T. - *Argamassas de cal hidráulica natural 3.5 com resíduos cerâmicos*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, 2013.
- MALINOWSKI, R. e GARFINKEL, Y. - *Prehistory Of Concrete*. Págs. 62-68., American Concrete Institute, 1991.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA MAR AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (MAMAOT) - <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/nrau/home/>. NRAU, 2012. (28/Agosto/2013).
- MARAVELAKI-KALAITZAKI, P.; AGIOUTANTIS, Z.; LIONAKIS, E.; STAVROULAKI, M. e PERDIKATIS, V. - *Physico-chemical and mechanical characterization of hydraulic mortars containing nano-titania for restoration applications*. Vol. 36., Elsevier, 2013.
- MARGALHA, G. - *O uso da cal em argamassas no Alentejo*. Tese de Mestrado. Universidade de Évora, Évora, 1997.
- MARGALHA, G. - *Argamassas*. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Universidade de Évora, 2011.
- MASSENA, R. - *Avaliação Da Evolução Das Características De Argamassas De Cal Aérea Com Diferentes Teores De Metacaulino Em Exposição Natural*. Tese de Mestrado. FCT-UNL, 2011.
- MERGULHÃO, D. - *Argamassas de cal aérea em cura marítima. Influência de teores elevados de metacaulino*. Dissertação de Mestrado. FCT-UNL, em curso.
- MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; AGGELAKOPOULOU, E. e ANAGNOSTOPOULOU, S. - *Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries*. Cement and Concrete Composites, vol. 27, págs. 289-294. Elsevier, 2005.
- MURAT, M. - *Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals. I. Preliminary investigation on metakaolinite*. In : Cement and Concrete Research 13, pp.259-266. 1983.
- NUNES, J. - *O estado da engenharia*. Ingenium, vol. 122, págs. 6-8., 2011.
- OLIVEIRA, L. - *V Encontro de Engenharia civil Norte de Portugal - Galiza*. Ingenium, vol. 121, págs. 16., 2011.
- PERA, J.; BONNIN, E. e CHABANNET, M. - *Immobilization of wastes by metakaolin-blended cements*. Special Publication, vol. 178, págs. 997-1006. 1998.
- PINA DOS SANTOS, C. e MATIAS, L. - *ITE50: Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios*. LNEC, Lisboa, 2006.
- QUEIRÓZ-LIMA, P. - *Técnico em edificações I*. Escola Europeia de Ensino Profissional, 2012.
- RAMOS, C. - *V Encontro de Engenharia Civil Norte de Portugal - Galiza*. Ingenium, vol. 121, págs. 16., 2011.
- RILEM - *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Test nº II.5 – Evaporation curve*. Vol. 13. Págs. 204-207., Materials & Structures, 1980a.
- RILEM - *Water absorption under low pressure. Pipe method. Test n.ºII.4. Recommendations provisoires*. Paris, 1980b.
- SANTOS SILVA, A. - *Adição de metacaulino em betão – efeitos sobre a durabilidade*. In AVEIRO, U., ed. : Atas do Seminário: Metacaulino em Portugal - Produção, Aplicação e Sustentabilidade, Aveiro 2011.

- SECIL - *Processo de fabrico de cimento - Cozedura*. Lisboa, 2013.
- SOUSA COUTINHO, A. - *Fabrico e propriedades do betão*. Vol. II. Lisboa, 1988.
- VALÉRIO, J. - *Argamassas de cal hidráulica natural* 3.5. *A influência do traço, do metacaulino e da cura*. Dissertação de mestrado. FCT-UNL, 2013.
- VEIGA, R.; FRAGATA, A.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A. e MARGALHA, G. - *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 4, págs. 177–195. 2010.
- VEIGA, M. - *As argamassas na conservação*. In COMUNICAÇÕES, C., ed. : *Actas das 1<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes*, Aveiro 2003.
- VEIGA, R. e FARIA, P. - *Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintéticos*. In LNEC, ed. : *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes - 1º Módulo*, Lisboa, pp.40-173. 1990.
- VEJMELKOVÁ, E.; KEPPERT, M.; ZBYNĚK, K.; ROVNANÍKOVÁ, P. e ČERNÝ, R. - *Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings*. *Construction and Building Materials*, vol. 31, págs. 22-28. Elsevier, 2012.
- VELOSA, A.; ROCHA, F. e VEIGA, R. - *Influence of chemical and mineralogical composition of metakaolin on mortar characteristics*. *Acta Geodynamica Et Geomaterialia*, págs. 121-126. 2009.





**ANEXOS**

## Anexo I – Ficha técnica da cal aérea



<b>Granulometria:</b>	
Retido a 125 microns	≤ 0%.
Teor em Água livre	≤ 1%.
Estabilidade (expansão)	≤ 0,2%.
Teor em $\text{Ca(OH)}_2$	≥ 93%.
Teor em MgO	≤ 3%.
Densidade aparente na ordem de 0,5.	

**LUSICAL**

F.P. 351 - CH 01 B - 06 / 2010



# Lusical H100

## DESCRIÇÃO

A **Lusical H100** é uma cal de construção utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas.

E aplicada principalmente nos rebocos, e duma forma geral na construção civil.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS e QUÍMICAS

Determinadas pelos métodos Laboratório Grupo

em conformidade com os modos operatórios normalizados

Nos produtos formulados,

- a granulometria da **Lusical H100** otimiza a eficácia do produto acabado.
- sua brancura garante uma qualidade constante dos rebocos.
- seu forte teor em hidróxido de cálcio dá ao reboco a trabalhabilidade e sua permeabilidade ao ar

## DOSAGEM e APLICAÇÃO

A **Lusical H100** é entregue sob a forma pulverulenta. Sua dosagem é feita a partir do silo de armazenamento.

Ela é extraída do silo com a ajuda de equipamentos de descolmatização como fundos vibrantes, canhões de ar, ou desagregadores rotativos.

O produto é transportado por parafusos sem fim.

Os materiais de dosagem devem ter em conta as características físicas do produto - densidade, fluidez - respondendo às exigências de precisão requeridas.

## CONDICIONAMENTO

Entregue em saco, big-bag e em sistema, a **Lusical H100** é armazenada em silos estanques.

## DADOS de SEGURANÇA

Ficha de segurança: Hidróxido de Cálcio.

O produtor garante que todas as diligências são efectuadas para o respeito dos critérios definidos. No entanto, trata-se de produtos naturais que podem apresentar ligeiras variações nas características físico-químicas sem incidência notável sobre a qualidade do produto



01- 06-2010

Valverde—2025-201 Alcanede - Portugal  
 Telefone (+351)243 400 040: - Fax (+351) 243 400 474—E-mail: info.lusical@lhoist.com

## Anexo II – Ficha técnica do metacaulino

# ARGICAL-M 1200S



### PRODUCT SPECIFICATION

#### Caractéristiques produit

ARGICAL-M 1200S is an artificial pozzolana (metakaolin). It is obtained by micronising and calcining a kaolinitic clay from the Charentes basin.

ARGICAL-M 1200S is a dehydroxylated aluminium silicate. Its general formula is  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . It is an amorphous non-crystallised material, constituted of lamellar particles.

ARGICAL-M 1200S est une pouzzolane artificielle (métakaolin), obtenue par broyage et calcination d'une argile kaolinique du bassin des Charentes.

ARGICAL-M 1200S est un silicate d'alumine déshydroxylé, de composition générale  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . C'est un matériau amorphe, non cristallisé, dont les particules présentent une forme lamellaire.

The technical details contained in this data sheet are given in all good faith for indicative purpose only, and do not constitute a guarantee by AGS Minéraux.

Sales are in accordance with our "Conditions of Sale", copies of which will be supplied on request.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre purement indicatif. Les valeurs indiquées n'emportent pas obligation pour le fournisseur. Elles ne constituent en aucun cas une garantie sur le produit et sur ses spécifications.

Seule la fiche de Spécification Contractuelle dans le cadre de nos Conditions Générales de Ventes engage notre société auprès des clients.

### PRODUCT USE

Additive for concretes, mortars and coatings, made from Portland cement or lime

Domaine d'utilisation

Additif pour bétons, mortiers, revêtements à base de ciment Portland ou de chaux

### CHEMICAL ANALYSIS

#### Analyse chimique

SiO <sub>2</sub>	55 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39 %
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	1,0 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8 %
TiO <sub>2</sub>	1,5 %
CaO + MgO	0,6 %
	1 %

### LOSS ON IGNITION

Perte au feu

### TYPICAL PHYSICAL CHARACTERISTICS

Caractéristiques physiques moyennes

pH

Pozzolanic index (Chapelle test) / Indice pouzzolanique

Brightness photovolt blue filter / Blancheur photovolt filtre bleu

Specific area (BET) / Surface spécifique (BET)

Water demand (Marsh cone) / Demande en eau (Cône de Marsh)

Specific gravity / Masse spécifique

Bulk density / Densité apparente

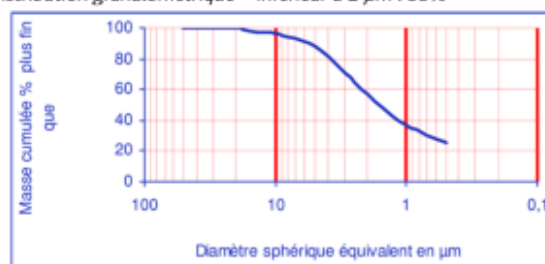
Loose / Non tassé

Tamped / Tassé

6
1400 mg Ca(OH) <sub>2</sub> /g
74 %
19 m <sup>2</sup> /g
1650 g/kg
2,2 g/cm <sup>3</sup>
250 kg/m <sup>3</sup>
400 kg/m <sup>3</sup>

### SIEVE ANALYSIS

Distribution granulométrique – Inférieur à 2 µm : 55%

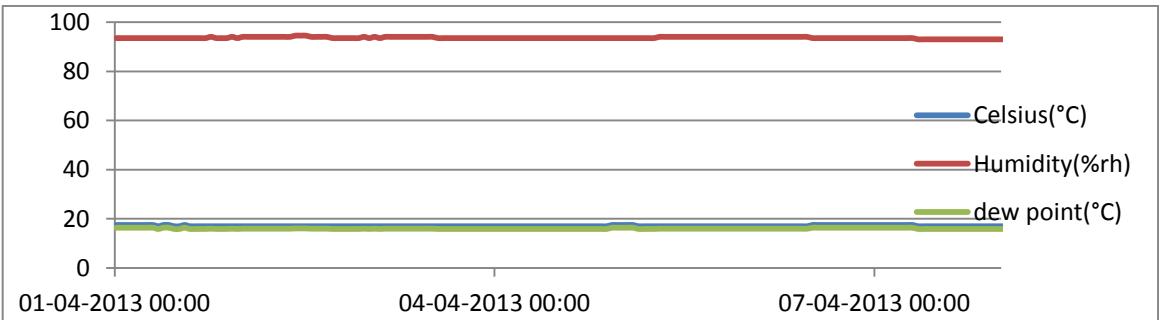
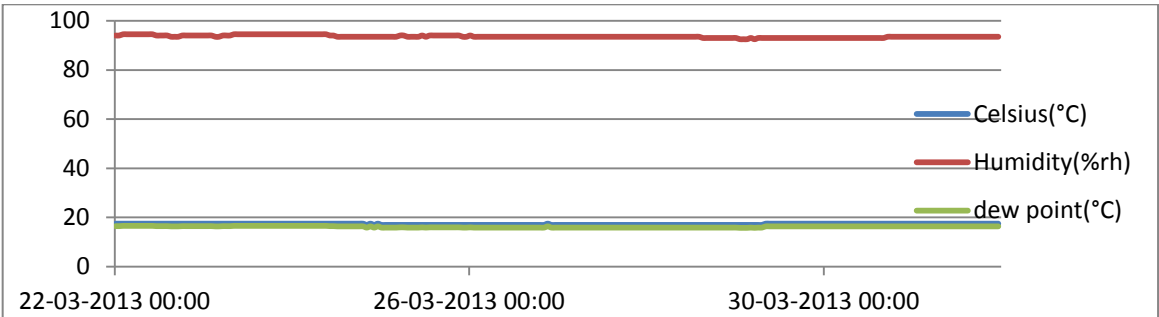
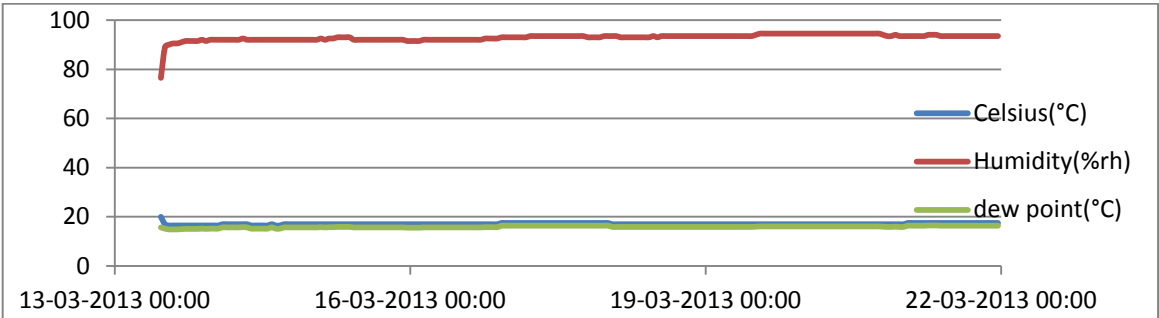


irac  
5 46 04 17 11  
Fax : +33 (0)5 46 04 21 05  
www.ags-mineraux.com  
commercial@ags-mineraux.com

Revision 4 – 2008/07/24



Anexo III – Dados das condições de cura húmida



## Anexo IV – Resultados individuais

Valores médios e desvio-padrão complementares no quadro 3.5.

Tijolo	Dureza superficial [grau shore-A] 28d											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desv.Pad
DV1S	75	65	74	64	78	84	77	60	73	61	71	8
DV2S	57	78	60	59	59	55	68	80	69	76	66	9
DV3S	80	54	75	76	78	65	78	82	71	57	72	9
DV1M1	63	56	76	71	53	57	43	67	62	77	63	10
DV2M2	73	49	56	52	58	84	75	67	64	66	64	10
DV3M1	78	87	64	66	81	59	67	77	83	73	74	9
DV1H	66	78	52	56	75	69	65	61	65	58	65	8
DV2H	60	83	77	84	84	60	66	87	76	74	75	10
DV3H	70	71	64	85	88	68	81	65	75	67	73	8

Tijolo	Dureza superficial [grau shore-A] 90d											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desv.Pad
DV1S	85	72	87	69	54	47	72	68	61	26	64	17
DV2S	46	52	63	93	63	74	76	73	81	76	70	13
DV3S	88	72	57	89	58	63	64	75	55	84	71	12
DV1M1	89	32	65	46	91	48	55	65	45	67	60	18
DV2M2	89	41	57	61	62	76	88	82	77	63	70	15
DV3M1	75	69	84	91	62	66	59	57	60	68	69	11
DV1H	58	73	67	64	57	59	61	66	74	51	63	7
DV2H	61	68	72	83	59	58	74	66	73	77	69	8
DV3H	78	68	56	94	46	88	65	83	69	59	71	14

Tijolo	Dureza superficial [grau shore-A] 180d											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desv.Pad
DV1S	82	58	69	71	50	54	59	75	70	61	65	10
DV2S	79	51	55	75	80	68	81	56	74	82	70	11
DV3S	57	82	91	87	78	66	95	72	83	79	79	11
DV1M1	69	91	51	50	70	63	76	64	62	50	65	12
DV2M2	70	73	51	86	92	66	50	85	81	58	71	14
DV3M1	53	64	61	75	82	67	55	65	64	60	65	8
DV1H	70	63	71	64	51	66	65	67	56	48	62	7
DV2H	84	65	52	85	74	84	75	76	72	84	75	10
DV3H	55	62	69	72	55	78	74	95	63	56	68	12

Tijolo	Condutibilidade térmica [W/(m.K)] 28 d							
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	Desv.Pad
DV1M1	0,496	0,541	0,713	0,825	0,739	0,716	0,672	0,115
DV2M2	0,490	0,416	0,425	0,497	0,527	0,536	0,482	0,046
DV3M1	0,557	0,532	0,499	0,436	0,480	0,489	0,499	0,038
DV1H	0,805	0,779	0,649	0,650	0,650	0,548	0,680	0,087
DV2H	0,854	0,794	0,892	0,763	0,836	0,687	0,804	0,067
DV3H	0,816	0,489	0,728	0,680	0,803	0,527	0,674	0,126
DV1S	0,451	0,296	0,215	0,518	0,365	0,342	0,365	0,099
DV2S	0,400	0,378	0,423	0,356	0,383	0,404	0,391	0,021
DV3S	0,513	0,485	0,446	0,521	0,497	0,493	0,493	0,024

Tijolo	Condutibilidade térmica [W/(m.K)] 90 d							
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	Desv.Pad
DV1M1	0,518	0,491	0,531	0,553	0,447	0,535	0,513	0,035
DV2M2	0,550	0,522	0,468	0,428	0,438	0,533	0,490	0,047
DV3M1	0,476	0,507	0,551	0,465	0,518	0,404	0,487	0,046
DV1H	0,680	0,601	0,505	0,521	0,516	0,562	0,564	0,061
DV2H	0,489	0,635	0,567	0,537	0,618	0,576	0,570	0,049
DV3H	0,588	0,525	0,587	0,611	0,446	0,579	0,556	0,056
DV1S	0,357	0,233	0,224	0,548	0,441	0,342	0,358	0,113
DV2S	0,476	0,355	0,468	0,386	0,438	0,425	0,425	0,043
DV3S	0,585	0,465	0,547	0,523	0,538	0,557	0,536	0,037

Tijolo	Condutibilidade térmica [W/(m.K)] 28 d							
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	Desv.Pad
DV1M1	0,430	0,523	0,454	0,506	0,436	0,493	0,474	0,036
DV2M2	0,529	0,542	0,426	0,509	0,523	0,512	0,507	0,038
DV3M1	0,576	0,489	0,528	0,556	0,545	0,539	0,539	0,027
DV1H	0,458	0,586	0,404	0,523	0,458	0,521	0,492	0,059
DV2H	0,528	0,619	0,540	0,592	0,516	0,574	0,562	0,037
DV3H	0,513	0,526	0,572	0,539	0,434	0,448	0,505	0,049
DV1S	0,388	0,314	0,509	0,228	0,487	0,395	0,387	0,096
DV2S	0,440	0,402	0,413	0,469	0,482	0,452	0,443	0,028
DV3S	0,441	0,503	0,561	0,541	0,587	0,532	0,528	0,046

Provete	Massa [g]	Ed [MPa] 28 dias							
		Ed <sub>1</sub>	Ed <sub>2</sub>	Ed <sub>3</sub>	Ed <sub>4</sub>	Ed <sub>5</sub>	Ed <sub>6</sub>	Ed <sub>7</sub>	Ed <sub>8</sub>
DV1M1	440,932	2011	2053	2125	2127	7431	7400	7439	7436
DV1M2	443,849	2224	2031	2198	2191	7680	7667	7685	7670
DV1M3	438,355	2218	2226	2216	2219	7647	7649	7656	7648
DV2M1	450,554	1560	1610	1839	1506	7024	7019	7110	6980
DV2M2	448,700	1581	1568	1571	1589	6575	6493	6533	6600
DV2M3	445,985	1677	1862	1828	1870	6468	7247	7490	7623
DV3M1	450,768	202	211	192	188	3413	3396	3444	3464
DV3M2	444,328	3296	3341	3405	3298	3523	-	-	-
DV3M3	455,511	3175	3177	3203	3211	3793	-	-	-
DV1H1	470,356	616	559	604	606	2545	2553	2601	2579
DV1H2	459,765	665	617	689	651	2587	2608	2618	3066
DV1H3	456,849	603	601	561	606	5983	5989	5958	5949
DV2H1	456,327	1213	1218	1240	1251	4446	4449	4461	4500
DV2H2	463,346	1240	1237	1406	1389	4370	4382	4370	4361
DV2H3	455,677	1274	1212	1233	1227	4513	4539	4501	4528
DV3H1	464,194	591	604	661	567	4268	4305	4251	4038
DV3H2	462,586	3877	3870	3877	3884	5255	5271	5290	5262
DV3H3	462,024	3892	3890	3902	3907	5420	5118	5257	4821
DV1S1	435,278	2149	2144	2258	2156	7975	7896	7906	7894
DV1S2	431,845	2259	2258	2256	2335	8545	8612	8593	8663
DV1S3	435,851	2084	2102	2084	2096	7893	7927	7892	7900
DV2S1	437,037	1430	1405	1371	1416	5893	6108	5802	5680
DV2S2	436,430	1338	1380	1380	1364	5415	5385	5396	5364
DV2S3	439,699	1427	1391	1421	1384	5566	5529	5554	5531
DV3S1	448,074	3576	3549	3577	3580	5216	5287	5359	5361
DV3S2	434,548	3716	3716	3690	3695	4980	4967	4337	4402
DV3S3	440,139	3763	3758	3806	3775	4790	5294	4644	4700

Provete	Massa [g]	Ed [MPa] 90 dias											
		Ed <sub>1</sub>	Ed <sub>2</sub>	Ed <sub>3</sub>	Ed <sub>4</sub>	Ed <sub>5</sub>	Ed <sub>6</sub>	Ed <sub>7</sub>	Ed <sub>8</sub>	Ed <sub>9</sub>	Ed <sub>10</sub>	Ed <sub>11</sub>	Ed <sub>12</sub>
DV1M4	439,929	2979	2959	2901	2923	11318	11987	11142	11121	-	-	-	-
DV1M5	439,696	2991	2996	3012	3007	12221	12118	12172	12261	-	-	-	-
DV1M6	431,834	2953	2917	3001	2986	10937	10927	11016	10938	-	-	-	-
DV2M4	444,832	2068	2119	2150	2118	-	-	-	-	-	-	-	-
DV2M5	442,469	1756	1800	1807	1781	2377	2398	2363	2360	3938	4016	4100	4014
DV2M6	452,419	2136	2150	2141	2162	7720	7745	7723	7749	-	-	-	-
DV3M4	451,812	1789	1808	1798	1776	2686	2633	2903	3158	5364	6323	6394	6407
DV3M5	455,864	2643	2637	2657	2640	3641	3655	3605	3650	-	-	-	-
DV3M6	455,825	2752	2765	2741	2757	10617	10627	10583	10598	-	-	-	-
DV1H4	435,622	2027	2062	2021	2037	7547	7531	7514	7515	-	-	-	-
DV1H5	439,605	2060	2058	2102	2012	8294	8269	8275	8265	-	-	-	-
DV1H6	437,362	1918	1910	1908	1916	7390	7382	7401	7392	-	-	-	-
DV2H4	438,278	1312	1310	1313	1315	5187	5196	5173	5208	-	-	-	-
DV2H5	437,196	1420	1431	1475	1468	5854	5900	5728	5753	-	-	-	-
DV2H6	448,059	1340	1339	1331	1349	5385	5370	5403	5394	-	-	-	-
DV3H4	443,623	2452	2432	2438	2443	-	-	-	-	-	-	-	-
DV3H5	446,916	2480	2448	2456	2478	-	-	-	-	-	-	-	-
DV3H6	449,013	2594	2566	2580	2591	-	-	-	-	-	-	-	-
DV1S4	440,639	2589	2607	2571	2621	10253	10255	10301	10286	-	-	-	-
DV1S5	440,188	2612	2616	2621	2619	10217	10212	10235	10221	-	-	-	-
DV1S6	444,763	2611	2613	2617	2618	10308	10416	14309	14316	-	-	-	-
DV2S4	442,348	1716	1593	1728	1615	6948	6999	6980	6930	-	-	-	-
DV2S5	447,196	1939	1616	1623	1704	7341	7403	7375	7400	-	-	-	-
DV2S6	446,231	1920	1928	1914	1921	7308	7208	7315	7311	-	-	-	-
DV3S4	444,037	3924	3936	3906	3902	6203	6134	5982	5774	-			
DV3S5	454,602	3341	3389	3352	3343	5816	5799	5823	5789	-	-	-	-
DV3S6	436,844	3908	3877	3819	3824	6164	6125	6170	6177	-	-	-	-



Provete	Massa [g]	Ed [MPa] 180 dias											
		Ed <sub>1</sub>	Ed <sub>2</sub>	Ed <sub>3</sub>	Ed <sub>4</sub>	Ed <sub>5</sub>	Ed <sub>6</sub>	Ed <sub>7</sub>	Ed <sub>8</sub>	Ed <sub>9</sub>	Ed <sub>10</sub>	Ed <sub>11</sub>	Ed <sub>12</sub>
DV1M7	439,929	2753	2802	3119	2780	-	-	-	-	-	-	-	-
DV1M8	439,696	3007	2790	2827	2823	-	-	-	-	-	-	-	-
DV1M9	431,834	3176	3231	2838	2944	-	-	-	-	-	-	-	-
DV2M7	444,832	1752	1828	1760	1454	-	-	-	-	-	-	-	-
DV2M8	442,469	1553	1866	1524	1885	-	-	-	-	-	-	-	-
DV2M9	452,419	1435	1571	1502	1465	-	-	-	-	-	-	-	-
DV3M7	451,812	721	703	542	781	2826	3066	3251	3389	-	-	-	-
DV3M8	455,864	416	562	621	536	2770	2751	2957	3095	-	-	-	-
DV3M9	455,825	530	575	648	512	3061	2755	2709	3158	-	-	-	-
DV1H7	435,622	688	595	257	456	2437	2451	2315	2448	9622	9605	9542	9384
DV1H8	439,605	567	587	654	548	2268	2262	2238	2247	-	-	-	-
DV1H9	437,362	667	548	628	498	2460	2455	2464	2463	-	-	-	-
DV2H7	438,278	245	177	321	635	1259	1275	1268	1239	4980	4967	4944	4971
DV2H8	437,196	347	201	293	353	1298	1279	1293	1284	5157	5284	5310	5274
DV2H9	448,059	238	311	187	206	1205	1205	1196	1260	4732	4763	4723	4702
DV3H7	443,623	2344	2350	2354	2365	8942	8884	8950	8768	-	-	-	-
DV3H8	446,916	226	213	2287	2276	2499	2312	2306	8812	9020	-	-	-
DV3H9	449,013	358	189	2259	2257	2272	2640	2236	2648	2458	8544	8615	-
DV1S7	440,639	2553	2547	2551	2601	-	-	-	-	-	-	-	-
DV1S8	440,188	2619	2729	2627	2713	-	-	-	-	-	-	-	-
DV1S9	444,763	2717	2745	2695	2699	-	-	-	-	-	-	-	-
DV2S7	442,348	753	608	546	449	1932	1861	1735	1864	-	-	-	-
DV2S8	447,196	397	364	359	381	1809	1746	1538	1619	-	-	-	-
DV2S9	446,231	1455	1717	1705	1690	-	-	-	-	-	-	-	-
DV3S7	444,037	3070	3283	3074	3345	-	-	-	-	-	-	-	-
DV3S8	454,602	654	711	683	518	3861	3886	3710	3799	-	-	-	-
DV3S9	436,844	753	575	662	493	3870	3716	3897	3775	-	-	-	-

## Resistências à tração por flexão e à compressão

28 dias

Provete	Flexão [N]	Rt [MPa]	Compressão [N]	Rc [MPa]
DV1M1	85,25	0,200	494,41	0,309
DV1M2	113,85	0,267	475,37	0,297
DV1M3	103,03	0,241	575,31	0,360
DV2M1	85,26	0,200	937,58	0,586
DV2M2	76,65	0,180	866,75	0,542
DV2M3	93,45	0,219	1015,69	0,635
DV3M1	174,66	0,409	2707,47	1,692
DV3M2	136,29	0,319	2100,80	1,313
DV3M3	138,47	0,325	2330,09	1,456
DV1H1	24,45	0,057	293,12	0,183
DV1H2	27,3	0,064	356,39	0,223
DV1H3	22,86	0,054	295,92	0,185
DV2H1	52,27	0,123	660,14	0,413
DV2H2	52,98	0,124	655,38	0,410
DV2H3	43,35	0,102	662,38	0,414
DV3H1	246,44	0,578	2400,64	1,500
DV3H2	197,64	0,463	2303,77	1,440
DV3H3	173,04	0,406	2465,59	1,541
DV1S1	102,33	0,240	733,77	0,459
DV1S2	88,92	0,208	662,10	0,414
DV1S3	120,62	0,283	650,06	0,406
DV2S1	72,6	0,170	985,73	0,616
DV2S2	85,75	0,201	1007,85	0,630
DV2S3	71,4	0,167	930,02	0,581
DV3S1	264,07	0,619	2983,79	1,865
DV3S2	307,88	0,722	3061,62	1,914
DV3S3	231,17	0,542	3492,47	2,183

90 dias

Provete	Flexão [N]	Rt [MPa]	Compressão [N]	Rc [MPa]
DV1M4	128,30	0,301	588,61	0,368
DV1M5	130,65	0,306	669,26	0,418
DV1M6	118,01	0,277	643,49	0,402
DV2M4	84,07	0,197	1040,85	0,651
DV2M5	104,04	0,244	1121,78	0,701
DV2M6	129,27	0,303	939,20	0,587
DV3M4	174,33	0,409	2143,58	1,340
DV3M5	172,39	0,404	1966,05	1,229
DV3M6	199,62	0,468	2158,42	1,349
DV1H4	109,25	0,256	639,01	0,399
DV1H5	112,08	0,263	753,26	0,471
DV1H6	82,38	0,193	575,45	0,360
DV2H4	60,02	0,141	556,41	0,348
DV2H5	84,50	0,198	511,60	0,320
DV2H6	60,46	0,142	716,86	0,448
DV3H4	156,73	0,367	1646,82	1,029
DV3H5	167,40	0,392	929,68	0,581
DV3H6	173,92	0,408	1985,37	1,241
DV1S4	148,27	0,348	823,27	0,515
DV1S5	152,88	0,358	1012,01	0,633
DV1S6	157,61	0,369	850,15	0,531
DV2S4	78,32	0,184	1068,01	0,668
DV2S5	100,67	0,236	1175,54	0,735
DV2S6	95,99	0,225	1127,94	0,705
DV3S4	283,52	0,665	3324,16	2,078
DV3S5	272,13	0,638	3025,38	1,891
DV3S6	273,10	0,640	3400,89	2,126

180 dias

Provete	Flexão [N]	Rt [MPa]	Compressão [N]	Rc [MPa]
DV1M7	93,96	0,220	884,70	0,553
DV1M8	104,64	0,245	891,41	0,557
DV1M9	118,91	0,279	712,79	0,445
DV2M7	52,10	0,122	759,75	0,475
DV2M8	71,53	0,168	848,92	0,531
DV2M9	47,51	0,111	764,79	0,478
DV3M7	161,86	0,379	1729,99	1,081
DV3M8	131,39	0,308	1129,57	0,706
DV3M9	152,03	0,356	1704,83	1,066
DV1H7	123,99	0,291	876,60	0,548
DV1H8	110,79	0,260	854,23	0,534
DV1H9	109,70	0,257	988,97	0,618
DV2H7	53,44	0,125	703,85	0,440
DV2H8	60,46	0,142	732,36	0,458
DV2H9	49,30	0,116	746,90	0,467
DV3H7	151,18	0,354	1596,94	0,998
DV3H8	157,72	0,370	1604,48	1,003
DV3H9	139,17	0,326	1790,65	1,119
DV1S7	111,57	0,261	863,18	0,539
DV1S8	111,82	0,262	1156,96	0,723
DV1S9	113,14	0,265	1057,17	0,661
DV2S7	84,58	0,198	1162,27	0,726
DV2S8	97,37	0,228	1392,32	0,870
DV2S9	68,66	0,161	1313,78	0,821
DV3S7	259,24	0,608	2784,93	1,741
DV3S8	280,06	0,656	2861,24	1,788
DV3S9	187,59	0,440	3269,63	2,044

## Porosidade aberta e massa volúmica

28 dias

Provete	M1 seca [g]	M2 hidrostática [g]	M3 saturada [g]	Pab [%]	MV [kg/m <sup>3</sup> ]
DV1M1	53,62	30,71	62,96	28,97	1662,36
DV1M2	40,03	22,46	47,43	29,63	1602,82
DV1M3	60,08	34,27	70,28	28,33	1668,54
DV2M1	53,41	30,33	63,21	29,81	1624,52
DV2M2	56,96	32,99	67,18	29,89	1665,67
DV2M3	68,70	41,79	79,37	28,39	1828,49
DV3M1	60,35	33,94	71,52	29,72	1605,62
DV3M2	62,24	35,90	73,69	30,30	1647,18
DV3M3	52,99	30,56	62,95	30,73	1636,00
DV1H1	47,69	26,74	55,85	28,03	1638,30
DV1H2	42,78	23,96	50,37	28,72	1619,88
DV1H3	52,83	29,22	62,03	28,02	1610,61
DV2H1	57,02	32,42	67,93	30,70	1606,01
DV2H2	54,51	31,29	64,97	31,05	1618,71
DV2H3	52,46	29,70	62,10	29,75	1619,35
DV3H1	58,94	33,64	70,80	31,93	1586,19
DV3H2	63,03	35,48	75,15	30,56	1588,71
DV3H3	64,61	36,76	77,05	30,88	1603,67
DV1S1	46,01	26,33	53,68	28,05	1681,85
DV1S2	52,50	30,18	60,62	26,68	1724,61
DV1S3	55,53	32,18	64,87	28,56	1699,13
DV2S1	57,69	33,35	67,96	29,67	1666,90
DV2S2	57,11	33,01	67,64	30,41	1649,03
DV2S3	49,20	28,58	58,17	30,32	1662,74
DV3S1	63,76	36,89	75,62	30,62	1646,51
DV3S2	71,37	41,93	84,94	31,55	1659,37
DV3S3	58,65	33,35	69,58	30,17	1618,89

90 dias

Provete	M1 seca [g]	M2 hidrostática [g]	M3 saturada [g]	Pab [%]	MV [kg/m³]
DV1M4	68,409	39,163	79,541	27,569	1694,215
DV1M5	73,074	40,738	85,144	27,181	1645,588
DV1M6	56,883	32,624	66,308	27,981	1688,725
DV2M4	49,449	28,258	58,087	28,958	1657,749
DV2M5	72,884	42,460	86,035	30,180	1672,610
DV2M6	77,111	44,220	90,542	28,995	1664,673
DV3M4	74,800	42,995	88,884	30,691	1630,020
DV3M5	60,670	34,170	71,654	29,303	1618,557
DV3M6	83,200	48,339	98,543	30,561	1657,238
DV1H4	67,676	38,322	79,083	27,985	1660,313
DV1H5	67,983	37,620	79,224	27,019	1634,050
DV1H6	68,920	38,991	80,492	27,884	1660,683
DV2H4	67,291	37,844	79,424	29,180	1618,350
DV2H5	72,778	41,164	85,966	29,436	1624,436
DV2H6	80,986	46,243	95,563	29,556	1642,052
DV3H4	91,009	52,371	107,905	30,425	1638,798
DV3H5	112,840	63,947	134,619	30,817	1596,672
DV3H6	66,034	37,572	78,839	31,030	1600,165
DV1S4	71,620	40,350	82,731	26,217	1689,908
DV1S5	74,063	42,323	85,640	26,726	1709,791
DV1S6	87,243	50,565	100,833	27,035	1735,557
DV2S4	65,051	37,460	76,200	28,779	1679,169
DV2S5	72,693	41,886	85,360	29,137	1672,103
DV2S6	71,982	41,392	84,660	29,301	1663,631
DV3S4	75,700	43,535	89,424	29,907	1649,633
DV3S5	100,229	58,514	118,080	29,968	1682,655
DV3S6	73,639	41,780	86,914	29,412	1631,564

180 dias

Provete	M1 seca [g]	M2 hidrostática [g]	M3 saturada [g]	Pab[%]	MV [kg/m <sup>3</sup> ]
DV1M7	57,010	32,215	65,477	25,455	1713,968
DV1M8	61,267	35,065	70,700	26,471	1719,293
DV1M9	70,170	39,973	80,488	25,467	1731,951
DV2M7	56,132	32,133	65,233	27,495	1695,831
DV2M8	33,500	19,190	38,868	27,279	1702,409
DV2M9	59,214	34,050	68,583	27,131	1714,708
DV3M7	67,945	38,520	79,655	28,467	1651,756
DV3M8	59,581	33,866	70,072	28,976	1645,611
DV3M9	67,363	38,755	78,980	28,880	1674,655
DV1H7	58,884	33,593	68,038	26,576	1709,508
DV1H8	63,817	36,568	73,772	26,758	1715,326
DV1H9	60,367	34,450	69,927	26,947	1701,581
DV2H7	62,064	35,437	72,577	28,306	1671,082
DV2H8	60,390	34,221	71,100	29,041	1637,517
DV2H9	60,758	34,510	71,512	29,063	1642,019
DV3H7	60,752	34,866	71,966	30,226	1637,520
DV3H8	57,124	32,463	67,300	29,210	1639,751
DV3H9	63,080	35,684	74,460	29,348	1626,779
DV1S7	61,446	35,533	69,930	24,665	1786,377
DV1S8	55,105	31,961	62,614	24,497	1797,703
DV1S9	64,540	37,577	73,780	25,523	1782,725
DV2S7	60,662	35,777	70,390	28,105	1752,579
DV2S8	57,516	33,746	66,630	27,716	1749,057
DV2S9	61,210	36,072	71,055	28,142	1749,707
DV3S7	61,143	35,337	71,388	28,418	1696,014
DV3S8	75,930	43,055	89,155	28,688	1647,072
DV3S9	61,242	35,414	71,630	28,683	1691,021

Capilaridade

	Quantidade de água absorvida [kg/m²] 28 dias								
min½	CL (m)	CL 10Mk (m)	CL 20Mk (m)	CL (h)	CL 10Mk (h)	CL 20Mk (h)	CL (s)	CL 10Mk (s)	CL 20Mk (s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	10,33	8,56	7,55	9,63	8,74	7,17	10,92	9,45	8,55
3,16	14,60	11,71	10,27	12,56	11,63	10,02	14,81	12,92	11,44
3,87	17,36	13,88	12,19	14,73	13,85	12,02	17,63	15,39	13,42
5,48	19,89	18,55	16,28	18,89	19,08	16,27	19,79	20,54	17,94
7,75	19,94	22,71	22,06	19,90	23,13	21,86	19,81	21,10	21,85
10,95	19,96	22,81	23,47	19,91	23,20	23,22	19,87	21,18	22,05
13,42	19,99	22,89	23,61	19,96	23,28	23,28	19,88	21,22	22,11
15,49	19,98	22,91	23,64	19,99	23,30	23,33	19,95	21,29	22,21
17,32	19,97	22,92	23,69	20,00	23,33	23,37	19,96	21,27	22,22
37,95	20,32	23,15	23,86	20,15	23,56	23,52	20,07	21,44	22,33
53,67	20,32	23,29	23,94	20,20	23,70	23,60	20,22	21,57	22,38
65,73	20,44	23,39	23,96	20,24	23,72	23,64	20,27	21,59	22,33
	Quantidade de água absorvida [kg/m²] 90 dias								
min½	CL (m)	CL 10Mk (m)	CL 20Mk (m)	CL (h)	CL 10Mk (h)	CL 20Mk (h)	CL (s)	CL 10Mk (s)	CL 20Mk (s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	12,03	10,62	8,15	10,66	8,50	6,71	10,56	9,19	7,46
3,16	15,75	13,55	10,92	14,16	12,15	9,56	14,18	12,49	10,19
3,87	17,96	15,98	13,05	17,23	14,73	11,99	17,12	15,35	12,65
5,48	18,94	20,48	17,19	19,90	20,18	16,81	19,31	20,83	17,38
7,75	18,96	22,42	22,51	19,99	21,59	22,00	19,38	22,37	21,53
10,95	18,98	22,49	23,54	20,05	21,68	22,46	19,37	22,41	21,71
13,42	19,00	22,54	23,62	20,03	21,75	22,53	19,38	22,45	21,78
37,95	19,25	22,98	23,99	20,21	22,07	22,85	19,43	22,67	21,97
53,67	19,45	23,25	24,00	20,49	22,32	23,04	19,63	22,87	22,12
75,89	19,67	23,65	24,38	20,57	22,57	23,12	19,77	23,03	22,23
	Quantidade de água absorvida [kg/m²] 180 dias								
min½	CL (m)	CL 10Mk (m)	CL 20Mk (m)	CL (h)	CL 10Mk (h)	CL 20Mk (h)	CL (s)	CL 10Mk (s)	CL 20Mk (s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	10,48	11,14	8,59	9,97	9,55	7,88	10,07	9,98	7,92
3,16	14,68	14,43	11,28	13,45	12,49	10,62	13,34	13,46	10,37
3,87	16,88	16,65	12,93	15,52	14,32	12,12	15,00	15,32	11,71
5,48	18,50	21,92	16,81	18,97	19,71	17,37	18,91	21,15	16,81
7,75	18,88	22,46	22,45	19,20	22,48	22,76	19,25	21,70	22,15
10,95	18,90	22,49	22,82	19,28	22,45	22,92	19,27	21,69	22,29
13,42	18,90	22,49	22,90	19,18	22,45	23,01	19,29	21,73	22,38
34,64	19,11	22,75	23,12	19,39	22,65	23,22	19,43	21,87	22,51
74,70	20,09	24,16	22,68	20,39	23,57	24,21	20,13	22,65	23,08
83,07	20,33	24,09	23,74	20,17	23,53	23,72	19,82	22,07	22,98



## Secagem

Tempo	Massa dos provetes [g] 28 dias											
min	DV1M1	DV1M2	DV1M3	DV2M1	DV2M2	DV2M3	DV3M1	DV3M2	DV3M3	DV1H1	DV1H2	DV1H3
0	259,517	252,642	250,126	254,560	263,306	261,832	256,536	257,766	257,857	254,424	246,026	245,934
60	259,068	252,025	249,423	253,755	262,638	261,385	255,969	257,319	257,447	253,914	245,526	245,578
160	258,707	251,807	249,102	253,288	262,282	261,207	255,637	257,015	257,135	253,598	245,335	245,326
210	258,572	251,677	248,932	253,058	262,113	261,103	255,479	256,862	256,995	253,462	245,223	245,165
270	258,417	251,517	248,702	252,728	261,897	260,980	255,278	256,675	256,823	253,284	245,081	244,980
330	258,281	251,363	248,509	252,449	261,723	260,863	255,114	256,510	256,682	253,127	244,961	244,822
1440	255,819	248,908	244,891	247,162	258,112	258,841	251,716	253,223	253,957	250,334	242,897	242,018
5880	246,530	239,919	231,157	228,472	242,994	248,436	235,777	237,067	240,750	241,238	236,801	235,592
7200	243,449	236,843	227,926	226,367	238,928	245,033	231,945	232,902	236,592	239,389	235,288	234,173
8850	239,864	233,270	224,984	224,521	235,428	241,178	229,165	229,852	232,504	237,344	233,357	232,515
10260	237,170	230,410	223,321	223,372	234,154	238,026	227,521	228,092	230,104	235,692	231,151	231,046
11730	234,612	227,442	222,052	222,438	233,631	235,088	226,146	226,759	228,247	234,090	228,867	229,527
16110	229,578	222,866	219,829	220,623	229,521	229,829	223,381	224,393	225,057	229,726	222,593	225,089
17610	228,585	221,933	219,333	220,197	228,893	228,729	222,694	223,216	224,369	228,112	220,692	223,569
18930	227,912	221,305	218,997	219,893	228,433	228,002	222,151	223,373	223,802	226,691	219,400	222,260
20370	227,336	220,776	218,721	219,614	227,982	227,299	221,632	222,905	223,283	225,610	218,283	220,510
21780	226,956	220,473	218,614	219,437	227,637	226,637	221,235	223,553	222,871	224,856	217,402	219,757
26190	226,280	220,395	218,629	219,174	226,959	225,701	220,279	221,678	221,844	223,071	215,495	216,194
27570	226,723	220,438	218,671	219,188	226,898	225,605	220,146	221,568	221,695	222,755	215,174	215,697
29100	226,740	220,458	218,617	219,191	226,865	225,583	220,033	221,566	221,558	222,488	214,879	214,375
37530	226,823	220,546	218,700	219,182	226,772	225,369	219,727	221,196	221,203	222,082	214,584	214,497
39180	226,840	220,560	218,794	219,173	226,774	225,371	219,697	221,175	221,180	222,066	214,548	214,531
40620	226,877	220,600	218,827	219,185	226,777	225,385	219,696	221,169	221,176	222,140	214,592	214,556
46440	226,947	220,650	218,900	219,219	226,600	225,390	219,673	221,153	221,153	222,210	214,657	214,620
47760	226,965	220,687	218,911	219,233	226,817	225,403	219,683	221,154	221,166	222,234	214,675	214,652

Tempo	Massa dos provetes [g] 28 dias														
min	DV2H 1	DV2H 2	DV2H 3	DV3H 1	DV3H 2	DV3H 3	DV1S1	DV1S2	DV1S3	DV2S1	DV2S2	DV2S3	DV3S1	DV3S2	DV3S3
00	246,00 5	271,50 3	261,97 1	250,95 4	249,82 8	250,36 9	267,97 4	251,33 7	248,84 9	238,70 1	234,55 2	257,50 8	244,46 0	236,59 0	249,40 7
60	245,67 0	271,07 0	261,68 9	250,26 0	249,50 7	249,93 7	267,65 8	251,02 4	248,41 8	238,47 1	234,30 9	257,16 7	244,22 0	236,29 6	249,16 6
160	245,43 6	270,69 9	261,36 2	250,22 7	249,21 3	249,66 0	267,43 0	250,86 6	248,23 6	238,25 0	233,95 3	256,81 3	243,95 2	236,09 1	248,96 3
210	245,33 1	270,52 4	261,20 4	250,07 9	249,08 6	249,53 6	267,31 7	250,75 6	248,11 2	238,13 1	233,85 8	256,62 8	243,81 1	235,95 6	248,87 5
270	245,20 5	270,30 3	260,99 6	249,93 1	248,92 0	249,37 8	267,17 4	250,62 1	247,96 8	237,99 6	233,74 7	256,41 1	243,66 3	235,81 3	248,77 1
330	245,09 8	270,20 7	260,81 6	249,79 1	248,77 3	249,24 0	267,03 9	250,49 5	247,84 3	237,86 6	233,63 9	256,21 8	243,52 5	235,67 7	248,67 3
1440	243,24 8	266,09 0	257,36 0	247,12 1	246,23 7	246,61 4	265,01 6	248,57 4	245,94 8	235,98 7	231,58 6	252,48 2	240,81 7	233,31 9	246,52 6
5880	233,58 3	247,69 7	240,93 0	233,78 3	233,54 2	233,75 6	259,52 8	242,20 8	240,72 6	226,24 1	222,33 1	237,29 3	226,09 1	221,82 7	235,70 4
7200	230,23 8	244,00 5	236,47 0	229,68 1	229,32 1	229,63 7	258,02 7	240,39 3	239,27 5	223,05 5	219,42 3	233,19 2	221,80 6	218,10 4	231,82 4
8850	226,12 6	241,46 2	233,63 5	226,21 2	225,32 7	226,15 9	256,21 5	238,25 6	237,58 4	219,23 9	215,92 2	230,19 6	218,74 4	214,40 7	227,50 6
10260	222,94 4	239,93 7	232,01 9	224,32 5	223,42 5	224,32 4	254,67 3	236,53 8	235,12 5	216,23 8	213,03 7	228,49 7	216,95 8	212,32 0	224,51 0
11730	220,46 4	238,73 9	230,78 9	222,87 8	221,88 8	222,76 5	252,96 0	234,70 7	234,95 6	213,81 8	210,48 4	227,19 8	215,48 9	210,64 9	222,11 7
16110	216,46 3	236,29 1	228,34 4	220,00 0	218,99 1	219,77 8	247,95 0	229,49 6	229,24 3	210,15 0	206,40 2	224,70 6	212,67 6	207,43 7	218,28 4
17610	215,52 5	235,67 5	227,73 8	219,25 6	218,26 8	219,04 5	246,24 7	227,27 7	227,27 2	209,35 4	205,53 6	224,09 7	212,03 1	206,63 3	217,46 7
18930	214,79 5	235,21 5	227,29 8	218,69 0	217,71 1	218,48 5	244,83 9	226,39 4	226,13 1	208,77 2	204,90 7	223,66 9	211,56 3	206,08 9	216,88 4
20370	214,10 8	234,77 1	226,06 2	218,07 5	217,17 1	217,92 0	243,32 5	224,99 0	224,71 3	208,22 2	204,29 1	223,25 0	211,10 5	205,50 8	216,34 5
21780	213,58 5	234,42 5	226,22 1	217,39 1	216,73 7	217,41 5	242,07 4	223,48 4	223,57 1	207,77 0	203,82 3	222,92 5	210,73 1	205,05 8	215,95 3
26190	212,32 2	233,62 8	225,80 1	216,37 9	215,63 7	216,15 8	238,43 5	221,05 0	220,61 5	206,66 0	202,68 5	221,22 6	210,00 2	203,88 1	215,18 4
27570	212,13 5	233,53 1	225,72 6	216,15 8	215,45 6	215,91 1	237,76 9	220,59 8	220,07 9	206,51 1	202,53 4	222,57 0	209,93 8	203,65 0	215,13 8
29100	211,07 6	233,47 5	225,69 5	215,93 2	215,28 4	215,67 0	237,03 0	220,19 1	219,59 0	206,38 7	202,41 7	222,14 1	209,87 8	203,44 5	215,11 0
37530	211,44 8	233,22 1	225,49 4	215,11 9	214,72 3	214,71 1	234,94 0	219,62 2	218,04 7	206,17 6	202,24 6	222,07 3	209,75 6	202,81 6	215,00 7
39180	211,54 1	233,21 6	225,48 4	215,02 9	214,66 6	214,58 2	234,92 1	219,62 8	218,03 8	206,17 5	202,24 1	222,07 0	209,75 6	202,78 0	215,00 1
40620	211,53 7	233,21 8	225,49 8	214,96 6	214,63 3	214,50 5	234,93 9	219,66 2	218,04 9	206,78 3	202,25 0	222,09 4	209,75 7	202,76 0	214,01 0
46440	211,53 5	233,23 2	225,52 2	214,86 0	214,58 0	214,34 0	234,98 8	219,71 2	218,10 0	206,20 4	202,27 2	222,11 2	209,75 0	202,73 2	215,02 0
47760	211,54 6	233,23 6	225,51 8	214,85 3	214,57 3	214,32 6	235,00 1	219,73 2	218,11 2	206,20 9	202,28 6	222,11 4	209,76 7	202,73 1	215,02 5

Tempo	Massa dos provetes [g] 90 dias											
min	DV1M4	DV1M5	DV1M6	DV2M4	DV2M5	DV2M6	DV3M4	DV3M5	DV3M6	DV1H4	DV1H5	DV1H6
0	252,808	230,189	252,440	290,744	257,083	250,809	249,433	300,045	248,179	253,821	244,643	257,328
60	252,208	229,575	251,907	290,190	256,647	250,398	248,841	299,475	247,839	253,355	244,063	256,726
130	251,951	229,380	251,662	289,836	256,374	250,236	248,487	299,104	247,617	253,041	243,820	256,425
190	251,788	229,260	251,479	289,555	256,220	250,087	248,215	298,832	247,458	252,872	243,627	256,188
240	251,630	229,173	251,295	289,274	256,062	249,945	247,941	298,545	247,307	252,702	243,407	255,954
1290	249,004	227,707	248,137	284,276	254,035	247,194	243,204	293,049	244,494	249,439	239,509	251,894
2880	245,157	225,543	244,480	277,797	251,392	243,504	236,261	285,990	240,516	244,787	234,117	246,672
4400	241,647	223,440	241,221	272,633	248,937	240,162	230,852	280,427	237,034	240,685	229,369	241,732
8490	233,209	217,831	233,674	261,742	242,842	232,065	221,667	269,646	228,870	231,920	220,280	230,975
9915	230,673	215,919	231,553	258,883	240,840	229,615	219,980	267,040	226,400	229,623	218,295	228,846
11377	228,428	214,079	229,560	256,520	238,879	227,378	218,740	264,970	224,096	227,619	216,600	227,339
12825	226,348	212,237	227,641	254,672	236,705	225,131	217,593	263,188	221,937	225,798	215,250	226,163
14160	225,076	210,898	226,400	253,563	235,140	223,620	216,883	262,126	220,488	224,490	214,500	225,510
18755	222,133	207,032	223,191	251,090	230,194	219,516	214,978	259,573	216,487	221,974	212,897	225,497
20135	221,582	206,012	222,468	250,649	228,900	218,665	214,542	259,009	215,635	221,482	212,671	224,548
21650	221,154	204,941	221,811	250,298	227,537	217,906	214,168	258,499	214,851	221,109	212,618	224,585
24555	220,940	203,216	220,941	250,024	225,304	216,857	213,618	257,865	213,703	220,873	212,655	224,630
28810	220,965	201,401	220,712	249,961	222,863	216,153	213,300	257,566	212,784	220,890	212,703	224,703
30315	220,973	201,063	220,725	249,529	222,285	216,087	213,278	257,543	212,671	220,903	212,720	224,711
31545	220,986	200,941	220,728	249,513	221,918	216,068	213,260	257,540	212,631	220,916	212,750	224,744
34725	221,020	200,896	220,755	249,498	221,357	216,036	213,244	257,515	212,574	220,943	212,765	224,777
38735	221,052	200,905	220,783	249,506	221,182	216,029	213,237	257,511	212,558	220,984	212,807	224,821
41655	221,073	200,916	220,813	249,520	221,163	216,032	213,242	257,509	212,547	221,019	212,841	224,865

Tempo	Massa dos provetes [g] 90 dias														
min	DV2H 4	DV2H 5	DV2H 6	DV3H 4	DV3H 5	DV3H 6	DV1S4	DV1S5	DV1S6	DV2S4	DV2S5	DV2S6	DV3S4	DV3S5	DV3S6
00	250,16 9	257,04 5	239,29 5	257,50 8	233,96 0	260,47 4	266,97 5	249,59 2	250,36 0	272,14 0	267,07 3	251,63 1	243,44 2	224,96 6	267,71 9
60	249,81 1	256,64 4	238,95 8	257,25 7	233,54 7	260,06 2	266,35 5	249,08 4	249,84 0	271,64 8	266,58 3	251,32 3	243,10 0	224,64 7	267,07 3
130	249,61 5	256,32 7	238,63 4	256,91 6	233,30 2	259,80 7	266,04 3	248,90 4	249,60 7	271,33 7	266,17 9	251,00 4	242,76 5	224,45 4	266,55 5
190	249,48 9	256,13 2	238,45 8	256,78 2	233,16 0	259,66 8	265,81 8	248,77 6	249,43 7	271,15 4	265,96 0	250,86 4	242,62 0	224,32 0	266,22 1
240	249,35 1	255,93 4	238,30 7	256,61 4	233,00 4	259,51 9	265,58 4	248,63 7	249,27 6	270,95 4	265,72 9	250,67 8	242,45 0	224,18 5	265,85 6
1290	247,42 8	252,01 1	236,11 3	253,77 9	229,57 5	256,41 4	262,64 0	246,56 7	247,15 1	266,64 8	260,92 8	247,19 8	239,48 0	221,99 9	258,88 4
2880	244,68 1	246,32 9	233,00 0	249,68 4	224,53 8	251,88 2	259,47 3	244,20 0	244,92 5	260,30 3	254,11 7	242,18 0	235,21 7	218,93 8	248,81 5
4400	242,14 2	241,30 7	230,93 5	245,81 5	220,18 9	247,85 1	256,96 0	242,35 0	243,20 8	254,49 8	248,15 0	237,90 1	231,47 0	216,12 5	241,03 5
8490	235,07 7	229,51 7	222,75 5	235,58 8	209,73 7	237,52 0	250,75 5	238,02 0	239,36 0	242,21 7	236,83 5	227,31 1	221,69 0	208,73 0	234,92 5
9915	232,47 2	227,26 0	220,21 5	232,51 0	207,49 0	234,01 1	248,32 2	236,49 4	237,99 0	240,26 5	235,02 8	224,34 0	218,60 6	205,98 5	233,59 5
11377	229,94 0	225,58 7	217,69 5	230,17 2	205,69 4	231,08 0	245,82 2	234,73 1	236,47 2	238,72 9	233,55 5	222,25 0	215,89 5	203,23 3	232,51 2
12825	227,36 1	224,25 8	215,11 8	228,26 7	204,13 8	229,04 6	243,21 2	232,70 6	234,41 8	237,43 3	232,32 3	220,69 1	213,73 0	200,62 9	231,60 4
14160	225,30 6	223,41 5	213,49 2	227,08 7	203,25 2	227,93 9	241,41 6	231,12 0	232,55 2	236,66 6	231,58 0	219,79 2	212,50 0	199,15 5	231,05 5
18755	224,54 9	221,50 4	209,84 3	223,91 1	201,28 1	225,48 9	237,24 2	225,00 6	226,52 9	235,09 6	230,01 4	217,69 8	209,93 2	195,72 7	229,91 3
20135	221,19 9	218,97 3	208,99 9	223,25 6	200,91 0	224,98 3	236,45 7	224,63 5	225,09 4	234,94 0	229,87 8	217,30 9	209,45 1	194,97 4	229,78 9
21650	217,96 8	220,98 1	208,27 4	222,59 7	200,60 8	224,50 9	235,74 4	223,19 2	223,72 8	234,91 0	229,84 3	217,04 8	209,09 2	194,36 8	229,74 3
24555	216,47 4	220,79 4	207,17 8	221,74 2	200,29 0	223,86 7	234,89 3	221,11 7	221,76 6	234,89 8	229,83 7	216,88 5	208,81 3	193,52 7	229,71 9
28810	214,99 1	220,75 1	206,10 5	221,02 1	200,19 6	223,37 4	234,76 6	219,32 8	219,93 4	234,89 2	229,83 6	216,86 1	208,75 2	193,08 9	229,68 9
30315	214,66 1	220,75 0	205,87 5	220,90 3	200,12 8	223,28 9	234,77 0	219,05 9	219,55 4	234,86 4	229,83 3	216,85 6	208,74 2	193,06 7	229,70 3
31545	214,48 6	220,76 5	205,73 2	220,84 4	200,13 4	223,25 9	234,79 6	219,01 6	219,40 0	234,88 1	229,85 1	216,86 2	208,75 1	193,06 9	229,71 2
34725	214,23 4	220,76 2	205,52 0	220,75 0	200,10 5	223,18 6	234,80 3	218,99 9	219,33 0	234,85 6	229,83 5	216,84 9	208,73 2	193,02 9	229,69 9
38735	214,18 1	220,79 2	205,45 5	220,71 4	200,10 1	223,14 0	234,84 3	219,02 8	219,35 4	234,86 8	229,85 2	216,85 4	208,73 1	193,02 5	229,69 2
41655	214,18 1	220,80 2	205,46 0	220,70 7	200,10 0	223,14 0	234,86 4	219,04 9	219,37 4	234,86 6	229,85 9	216,86 2	208,72 4	193,02 0	229,69 5

Tempo	Massa dos provetes [g] 180 dias											
min	DV1M7	DV1M8	DV1M9	DV2M7	DV2M8	DV2M9	DV3M7	DV3M8	DV3M9	DV1H7	DV1H8	DV1H9
0	253,794	234,785	262,400	274,546	259,394	269,039	258,916	277,405	248,200	250,500	247,987	257,775
60	253,415	234,288	261,970	274,067	258,892	268,605	258,627	276,923	248,760	250,000	247,680	257,506
120	253,119	234,098	261,749	273,814	258,794	268,378	258,352	276,655	248,524	249,898	247,627	257,267
180	252,792	233,904	261,474	273,532	258,638	268,078	258,018	276,260	248,274	249,703	247,512	257,182
240	252,480	233,694	261,224	273,227	258,425	267,766	257,645	275,873	248,081	249,500	247,367	257,021
300	252,134	233,460	260,930	272,881	258,180	267,425	257,234	275,453	247,854	249,313	247,200	256,852
1630	246,527	229,873	255,924	266,840	253,743	262,517	250,386	268,648	243,910	245,943	244,286	253,624
2995	241,485	226,366	250,905	261,414	249,285	257,355	244,400	263,017	240,188	242,385	241,200	250,313
4540	237,407	223,063	246,444	257,852	245,011	252,603	239,093	258,019	236,637	238,802	238,094	246,942
8920	230,245	216,101	238,563	247,841	235,739	243,268	230,159	249,331	229,892	231,573	230,993	238,478
10120	228,833	214,425	236,966	245,960	233,736	241,433	228,610	247,727	228,218	229,744	229,097	236,516
11700	227,214	212,515	235,070	243,766	231,396	239,370	226,944	245,911	225,800	227,388	226,695	234,107
13000	226,138	211,126	233,768	242,183	229,672	237,852	225,834	244,605	224,106	225,725	224,716	232,351
18880	222,995	207,128	230,063	237,971	225,046	233,822	222,808	240,826	218,997	221,298	218,741	227,624
20460	222,490	206,365	229,380	237,202	224,239	233,104	222,333	239,096	217,935	220,580	217,744	226,840
21790	222,196	205,865	228,912	236,646	223,698	232,610	222,110	239,578	217,242	220,136	217,053	226,317
22960	222,079	205,476	228,512	235,194	223,260	232,248	221,978	239,179	216,630	219,820	216,542	225,906
24640	221,994	205,061	228,233	235,586	222,821	231,806	221,862	238,690	215,785	219,540	215,989	225,453
29020	221,967	204,890	228,090	234,911	222,545	231,525	221,810	238,232	214,161	219,498	215,626	225,216
30490	221,966	204,893	228,120	234,967	222,600	231,571	221,870	238,260	213,825	219,573	215,703	225,277
31745	221,969	204,879	228,100	234,866	222,547	231,518	221,820	238,198	213,480	219,528	215,614	225,217
33205	221,977	204,890	228,095	234,857	222,540	231,511	221,817	238,195	213,200	219,535	215,665	225,240

Tempo	Massa dos provetes [g] 180 dias														
min	DV2H 7	DV2H 8	DV2H 9	DV3H 7	DV3H 8	DV3H 9	DV1S7	DV1S8	DV1S9	DV2S7	DV2S8	DV2S9	DV3S7	DV3S8	DV3S9
00	259,59 1	276,65 0	259,09 7	257,32 4	272,43 8	245,94 6	252,12 4	266,72 0	250,94 9	247,24 5	259,07 0	256,26 8	268,78 4	227,45 7	260,61 7
60	259,24 6	276,28 0	258,74 6	256,92 2	271,79 0	245,73 5	251,80 9	266,40 1	250,71 9	247,02 2	258,80 2	256,06 1	268,44 8	227,24 1	260,13 8
120	259,06 0	276,12 2	258,60 0	256,77 2	271,47 8	245,56 5	251,60 8	266,18 5	250,52 8	246,85 3	258,64 5	255,82 0	268,23 7	227,08 7	259,94 7
180	258,95 1	275,88 3	258,42 0	256,57 9	271,02 6	245,38 8	251,37 2	265,90 8	250,39 0	246,72 6	258,49 4	255,66 1	267,98 7	226,88 8	259,73 7
240	258,82 5	275,60 7	258,18 6	256,35 2	270,56 0	245,20 0	251,13 5	265,64 0	250,20 5	246,58 7	258,31 5	255,50 0	267,74 0	226,73 0	259,52 0
300	258,66 0	275,27 6	258,02 0	256,09 0	270,01 5	245,01 3	250,89 5	265,38 5	250,00 3	246,40 1	258,13 0	255,27 3	267,44 0	226,59 6	259,26 3
1630	255,16 5	269,29 9	253,91 8	251,36 0	259,63 6	241,75 7	247,18 4	260,82 4	246,88 8	242,50 7	254,33 3	250,86 0	261,40 0	223,64 0	254,30 0
2995	251,46 6	262,89 3	249,61 4	246,51 0	249,31 7	238,41 4	244,00 0	257,16 0	244,23 0	238,05 5	250,53 6	246,34 4	255,28 0	220,62 2	249,36 6
4540	247,62 3	256,69 6	244,76 0	240,85 7	241,82 0	234,98 3	241,09 8	253,79 8	241,89 0	233,29 6	246,19 7	241,23 4	248,78 0	217,40 6	244,22 3
8920	236,96 2	243,66 3	231,54 0	226,99 1	236,06 0	228,06 5	234,58 0	245,94 3	235,45 5	221,08 6	234,55 2	228,06 7	237,21 4	209,41 2	233,17 6
10120	234,20 0	242,47 7	229,41 5	225,34 0	235,31 0	226,03 3	232,60 4	243,86 2	233,71 0	219,44 0	231,91 1	226,24 4	235,68 8	207,40 7	231,17 0
11700	231,10 0	241,30 8	227,61 1	223,91 1	234,45 0	222,38 0	230,24 2	241,46 6	231,68 8	217,87 0	229,37 7	224,66 3	234,16 0	204,44 4	229,15 5
13000	229,19 3	240,50 3	226,37 8	223,70 0	233,88 6	219,65 5	228,37 5	239,73 8	229,97 9	216,81 3	227,82 4	223,63 8	233,23 2	202,41 9	227,86 5
18880	225,22 0	238,69 1	223,27 6	221,13 2	232,94 4	213,58 8	223,25 4	235,61 4	224,08 7	214,48 5	224,61 3	221,29 6	231,20 7	197,53 9	225,01 8
20460	224,50 2	238,47 6	222,84 1	220,87 9	232,88 6	212,75 0	222,52 6	235,06 1	222,95 0	214,05 9	224,07 1	220,46 1	230,98 9	196,78 0	224,58 5
21790	224,18 5	238,42 6	222,61 6	220,79 4	232,89 9	212,18 0	222,07 2	234,80 0	222,15 2	213,70 3	223,70 7	220,81 0	230,88 8	196,27 0	224,30 0
22960	223,88 8	238,39 0	222,47 4	220,75 7	232,89 3	211,65 4	221,76 5	234,71 9	221,57 8	213,41 5	223,47 6	220,73 7	230,86 0	195,90 0	224,09 9
24640	223,44 4	238,27 4	222,36 0	220,68 0	232,85 4	211,16 1	221,54 1	234,67 3	220,84 6	213,32 1	223,27 7	220,65 6	230,77 2	195,53 6	223,94 2
29020	223,20 0	238,24 7	222,36 6	220,60 0	232,81 1	210,21 1	221,52 7	234,69 3	220,09 2	213,25 5	223,20 0	220,61 1	230,75 0	195,30 1	223,84 2
30490	223,36 2	238,31 5	222,39 0	220,73 3	232,89 6	210,12 5	221,61 1	234,80 0	220,15 0	213,22 5	223,29 5	220,71 5	230,80 0	195,38 0	223,91 0
31745	223,29 7	238,25 5	222,32 5	220,66 6	232,82 2	209,96 4	221,55 5	234,74 0	220,09 0	213,25 5	223,21 4	220,63 3	230,72 0	195,30 0	223,83 6
33205	223,29 0	238,28 4	222,39 0	220,68 5	232,85 5	209,94 1	221,57 6	234,75 8	220,06 7	213,24 9	223,22 2	220,64 5	230,76 2	195,29 7	223,84 6

Sulfatos 28 dias

	Clubs																											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
DV1M1	226.254	227.116	227.666	228.374	228.308	225.059	228.232	226.623	223.429	222.318	222.936	216.083	209.691	204.475	202.959	198.872	195.539	92.533	93.317	91.700	82.984	81.746	80.179	66.280	63.746	62.342		
DV1M2	219.904	220.753	221.518	222.194	222.025	222.294	222.724	221.832	217.852	216.020	216.493	207.217	206.368	200.999	199.650	194.017	191.039	187.762	187.217	186.873	178.936	177.679	176.867	167.139	164.466	162.247		
DV1M3	218.068	219.026	219.653	220.235	220.132	220.536	221.074	219.746	216.197	214.303	215.162	207.955	202.623	199.639	199.238	192.810	189.096	184.440	184.474	184.096	175.113	173.816	173.558	164.430	162.414	161.120		
DV2M1	217.522	218.419	219.176	219.996	219.088	209.220	195.923	109.614	119.443	76.946	39.265	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2M2	225.164	226.128	226.993	227.763	227.194	226.475	190.735	180.552	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2M3	223.889	224.986	225.918	226.821	226.525	225.792	154.939	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3M1	217.431	218.253	219.915	220.184	219.900	213.178	191.698	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3M2	219.014	220.053	220.953	221.871	221.293	217.786	189.658	114.380	87.150	69.865	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3M3	219.156	220.327	221.197	222.202	222.137	219.350	283.264	135.984	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV1H1	221.742	222.753	223.606	224.394	225.001	225.397	225.849	224.445	224.007	223.708	224.321	220.127	212.190	209.971	209.564	207.649	206.675	206.618	204.322	204.620	201.704	201.023	201.420	194.640	194.287	193.716		
DV1H2	214.268	215.217	216.062	216.855	217.435	217.938	218.449	217.938	218.306	218.366	218.683	213.040	205.547	203.358	203.066	201.314	200.606	199.430	199.477	200.016	196.232	196.167	195.936	190.610	189.709	189.159		
DV1H3	214.354	215.328	216.132	216.943	217.580	218.313	218.929	219.341	219.630	219.287	219.885	215.859	209.329	206.466	205.100	203.405	202.939	201.796	201.923	202.422	198.842	198.826	199.491	195.045	194.178	193.729		
DV2H1	210.244	211.315	212.259	213.230	213.583	213.807	214.330	208.529	205.432	202.546	198.543	178.037	165.707	158.575	151.134	144.544	67.540	60.723	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2H2	231.756	232.882	233.916	235.999	235.092	235.018	229.711	221.775	219.318	218.103	215.726	198.972	179.102	170.232	168.760	162.888	158.991	150.276	146.251	139.737	127.373	58.096	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2H3	224.085	225.180	226.190	227.197	226.877	226.792	224.689	219.460	216.802	209.860	208.991	198.334	184.057	179.172	173.618	167.753	160.555	153.369	149.331	146.500	138.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3H1	212.578	213.725	214.674	215.693	216.106	215.463	216.295	213.948	212.201	210.744	209.243	191.682	167.659	159.997	157.788	152.217	147.229	128.665	56.791	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3H2	212.442	213.533	214.470	215.389	216.013	216.557	211.432	215.487	215.404	197.346	196.827	182.058	170.919	163.926	160.479	155.979	151.108	113.746	81.025	77.275	67.482	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3H3	211.938	213.077	214.022	214.967	215.762	215.510	215.625	212.792	212.071	208.082	207.177	182.144	170.150	164.492	161.860	153.795	150.227	131.108	118.001	83.881	51.673	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV1S1	234.305	235.386	236.201	237.046	237.695	238.247	238.534	238.149	238.193	237.866	238.054	227.708	218.132	210.570	209.513	201.038	196.509	193.476	192.982	192.277	181.446	179.759	178.522	165.940	163.326	161.925		
DV1S2	219.083	220.199	220.935	221.610	222.155	222.573	222.970	223.102	223.484	223.494	224.348	219.615	211.848	206.144	205.073	198.131	194.648	189.728	188.958	187.706	181.586	179.811	178.755	163.800	153.850	149.030		
DV1S3	217.373	218.360	219.113	219.973	220.490	221.080	221.506	221.977	221.573	221.078	221.620	218.445	208.640	200.320	198.375	191.812	182.310	177.038	176.130	175.729	166.969	165.558	164.952	151.501	150.159	148.646		
DV2S1	204.395	205.394	206.188	206.973	207.374	207.462	201.418	199.276	185.397	78.647	70.923	37.843	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2S2	200.710	201.657	202.464	203.087	202.792	202.173	202.302	196.071	114.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV2S3	220.453	221.329	222.272	223.005	222.772	222.888	220.213	202.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3S1	207.668	208.662	209.522	210.360	210.573	210.068	210.668	207.630	196.068	169.306	143.029	123.261	91.583	80.496	76.184	62.451	57.262	44.533	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3S2	200.368	201.377	202.221	203.107	203.126	202.480	185.682	180.022	124.656	115.438	81.596	60.395	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
DV3S3	213.134	214.130	214.864	215.864	215.933	215.486	213.789	209.775	174.920	121.689	104.052	97.026	90.707	70.708	64.890	38.912	34.940	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

90 dias

	Ciclos																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
DV1M4	187.196	188.412	188.136	189.099	189.371	189.257	189.318	189.632	189.697	189.923	190.257	190.354	190.750	190.982	190.666	167.843	166.713	166.906	165.200	165.547	162.860	161.520	160.604	158.063	138.915	135.725	
DV1M5	199.988	201.380	201.352	202.190	202.627	203.172	203.593	203.990	204.398	204.388	204.765	204.919	205.375	205.505	204.755	177.870	175.011	174.372	173.133	172.050	170.870	168.660	167.691	164.360	147.550	142.793	
DV1M6	220.374	221.843	221.836	223.196	224.089	224.414	224.578	225.161	225.629	226.011	226.476	226.488	226.821	226.499	226.200	210.226	207.798	207.431	205.790	203.900	202.820	201.947	201.735	201.164	186.580	182.587	
DV2M4	248.052	249.772	249.693	251.013	251.739	251.362	181.064	139.830	134.807	133.044	130.291	129.382	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV2M5	219.755	221.435	221.377	222.623	222.449	166.669	112.848	91.931	90.930	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV2M6	214.832	216.345	216.288	217.570	217.187	93.932	35.603	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3M4	211.815	213.359	213.307	214.633	215.597	215.668	215.180	96.586	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3M5	255.912	257.900	257.867	259.640	260.574	146.589	89.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3M6	211.083	212.905	211.611	212.952	183.506	58.274	57.737	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV1H4	220.371	221.968	221.961	223.251	224.354	225.446	226.270	227.166	228.631	228.588	229.400	229.581	230.606	231.262	222.513	214.154	86.519	86.853	86.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DV1H5	212.341	213.842	213.848	215.100	216.111	217.205	217.920	218.618	221.03	219.550	220.624	220.775	221.545	221.961	218.130	206.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DV1H6	224.621	226.092	226.096	227.400	228.562	229.830	229.922	231.942	234.531	233.300	234.291	234.227	235.662	236.188	236.690	237.150	237.951	239.345	239.510	239.920	240.900	241.540	242.209	242.482	238.455	234.172	
DV2H4	212.794	214.253	214.122	215.416	215.795	214.923	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV2H5	219.489	221.146	221.076	222.556	223.616	223.744	221.716	84.162	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV2H6	204.190	205.899	205.505	207.017	207.887	191.717	189.337	175.143	106.504	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3H4	219.007	220.750	220.302	221.677	222.709	223.045	222.555	221.973	220.405	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3H5	198.805	200.670	200.429	201.660	202.657	203.648	202.710	199.403	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3H6	221.503	223.388	223.291	224.823	226.064	226.830	226.980	226.388	165.612	70.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV1S4	234.281	235.759	236.025	237.146	238.260	238.892	239.055	239.631	239.387	239.100	239.666	239.629	239.632	239.089	238.458	237.605	237.173	237.171	235.188	232.905	230.390	228.555	225.830	219.919	198.477	191.430	
DV1S6	218.446	219.853	220.124	221.270	221.960	222.743	223.200	223.986	223.931	223.920	224.314	223.764	224.480	224.613	221.050	207.194	206.620	205.931	203.300	201.600	199.077	195.540	158.217	155.558	144.245	110.987	
DV2S4	233.349	234.880	234.847	236.348	237.269	237.682	237.820	237.792	237.478	188.880	186.709	183.419	128.122	127.070	0.000	0.000	0.000	202.148	201.000	198.966	197.400	196.393	194.847	192.697	182.658	177.841	
DV2S5	228.571	230.656	230.222	231.664	232.660	233.444	233.911	233.777	232.988	165.935	163.785	162.374	162.460	160.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DV2S6	215.433	216.729	216.780	218.159	218.830	219.314	219.160	218.586	218.055	217.500	213.610	212.001	207.780	181.983	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DV3S4	207.312	208.950	208.893	210.356	211.702	212.042	212.400	212.694	212.950	212.577	212.650	212.689	213.354	213.430	214.024	154.476	130.083	123.700	120.080	116.946	115.180	112.150	108.590	99.645	84.695	76.784	
DV3S5	191.540	192.930	193.033	194.202	195.240	195.491	196.126	195.897	195.600	160.166	159.595	153.324	153.021	150.752	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DV3S6	228.097	229.904	229.751	231.255	232.397	233.221	233.916	238.220	227.166	225.910	225.660	224.801	223.115	224.810	224.317	223.736	224.003	224.200	223.327	218.638	217.733	216.960	216.444	210.691	185.915	183.463	



180 dias

	Ciclos																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
DVM7	221.250	224.654	222.480	222.176	221.622	207.218	198.250	193.216	171.837	137.320	114.911	95.087	84.742	73.000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DVM8	204.377	207.274	206.910	206.650	206.424	206.467	206.822	207.120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	227.200	230.212	227.396	226.280	225.733	224.191	212.911	209.898	191.707	161.196	137.120	120.070	104.889	87.250	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	232.797	236.212	234.240	233.447	232.841	227.740	164.788	153.461	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	221.122	224.916	221.430	218.800	218.124	216.859	215.633	214.165	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	229.470	232.611	231.177	229.255	227.793	186.554	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	220.177	223.952	223.950	223.485	223.007	190.075	168.633	151.779	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	226.083	239.856	240.022	239.329	240.030	239.699	239.760	238.773	149.189	115.566	77.683	64.307	53.899	31.688	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	210.777	214.457	213.933	213.570	213.704	213.225	173.230	161.630	130.964	83.873	76.135	60.175	55.190	50.900	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	218.800	222.032	220.640	220.788	221.098	210.463	170.193	141.680	133.671	113.677	108.042	101.097	80.195	61.280	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	215.030	218.070	215.977	216.208	216.196	216.633	217.030	217.405	199.671	163.653	121.622	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	224.500	227.580	225.877	226.040	226.814	227.693	227.262	227.661	203.564	183.395	130.103	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	221.366	224.624	223.016	222.500	222.041	220.840	219.966	218.700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	236.880	240.940	240.400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	220.610	223.190	220.900	219.050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	218.584	221.010	220.344	220.180	219.866	219.637	218.950	218.132	151.609	98.344	67.862	55.186	44.750	38.000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	231.333	235.246	234.770	234.540	234.468	233.934	233.390	232.568	177.074	133.240	105.718	93.008	89.225	82.030	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	207.888	211.452	209.970	209.125	208.636	207.593	207.533	206.787	149.501	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	221.030	224.153	221.917	220.800	219.721	217.290	216.455	214.860	192.401	152.401	112.448	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	234.044	237.690	236.950	235.360	234.047	231.084	222.470	214.840	171.904	149.317	100.124	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	219.533	222.770	222.466	222.570	221.162	217.596	201.615	197.250	152.278	131.138	93.671	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	211.673	215.277	214.070	213.940	213.940	213.290	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	221.688	225.035	224.140	223.990	224.095	223.701	223.320	222.747	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	219.944	222.622	220.210	219.725	219.610	219.000	218.700	218.600	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM7	228.822	232.570	231.800	232.041	232.173	212.493	218.250	210.013	142.365	78.788	66.119	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM8	193.688	196.965	197.166	196.602	196.741	196.813	179.560	173.489	120.077	48.212	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVM9	222.000	225.474	223.360	225.866	226.227	226.505	209.550	200.355	197.148	111.917	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-